# 特别说明

此资料来自百度文库（http://wenku.baidu.com/）

您目前所看到的文档是使用的**抱米花百度文库下载器**所生成

此文档原地址来自

**http://wenku.baidu.com/view/c6caa3c00c22590102029dc8.html**

感谢您的支持

抱米花

http://blog.sina.com.cn/lotusbaob

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

# 第一篇 FLUENT 基础知识

## 第一章 FLUENT 软件介绍

FLUENT 软件是目前市场上最流行的 CFD 软件，它在美国的市场占有率达到 60%。在我们进行的网上调查中发现，FLUENT 在中国也是得到最广泛使用的 CFD 软件。因此，我们将在这本书中为大家全面介绍 FLUENT 的相关知识，希望能让您的 CFD 分析工作变得轻松起来。

用数值方法模拟一个流场包括网格划分、选择计算方法、选择物理模型、设定边界条件、设定材料属性和对计算结果进行后处理几大部分。本章将概要地介绍 FLUENT 软件的以下几个方面：

（1）FLUENT 软件的基本特点。
（2）FLUENT、GAMBIT、TECPLOT 和 EXCEED 的安装和运行。
（3）FLUENT 的用户界面。
（4）FLUENT 如何读入和输出文件。
（5）FLUENT 中使用的单位制。
（6）如何规划计算过程。
（5）FLUENT 的基本算法。

### 1.1 FLUENT 软件概述

#### 1.1.1 网格划分技术

在使用商用 CFD 软件的工作中，大约有 80%的时间是花费在网格划分上的，可以说网格划分能力的高低是决定工作效率的主要因素之一。FLUENT 软件采用非结构网格与适应性网格相结合的方式进行网格划分。与结构化网格和分块结构网格相比，非结构网格划分便于处理复杂外形的网格划分，而适应性网格则便于计算流场参数变化剧烈、梯度很大的流动，同时这种划分方式也便于网格的细化或粗化，使得网格划分更加灵活、简便。

FLUENT 划分网格的途径有两种：一种是用 FLUENT 提供的专用网格软件 GAMBIT 进行网格划分，另一种则是由其他的 CAD 软件完成造型工作，再导入 GAMBIT 中生成网

格。还可以用其他网格生成软件生成与 FLUENT 兼容的网格用于 FLUENT 计算。可以用于造型工作的 CAD 软件包括 I-DEAS、Pro/E、SolidWorks、Solidedge 等。除了 GAMBIT 外，可以生成 FLUENT 网格的网格软件还有 ICEMCFD、GridGen 等等。

FLUENT 可以划分二维的三角形和四边形网格，三维的四面体网格、六面体网格、金字塔型网格、楔型网格，以及由上述网格类型构成的混合型网格。

## 1.1.2 软件的灵活设置

FLUENT 的内核部分是用 C 语言写成的，软件界面则是用 LISP 语言的一个分支 Scheme 语言写成的。因为 C 语言在计算机资源的分配使用上非常灵活，所以 FLUENT 也在这方面拥有很大的灵活性，并可以在“客户/服务器”模式下进行网络计算。而 LISP 类型的语言允许高级用户通过编制宏和自定义函数改变软件的外观，使用户在使用中可以根据自己的喜好定制界面，这点是 FLUENT 软件的一个显著特色。

## 1.1.3 软件的基本构成

FLUENT 软件包中包括以下几个软件：

（1）FLUENT 求解器——FLUENT 软件的核心，所有计算在此完成。

（2）prePDF——FLUENT 用 PDF 模型计算燃烧过程的预处理软件。

（3）GAMBIT——FLUENT 提供的网格生成软件。

（4）TGRID——FLUENT 用于从表面网格生成空间网格的软件。

（5）过滤器——或者叫翻译器，可以将其他 CAD/CAE 软件生成的网格文件变成能被 FLUENT 识别的网格文件。上述几种软件之间的关系如图 1-1 所示。

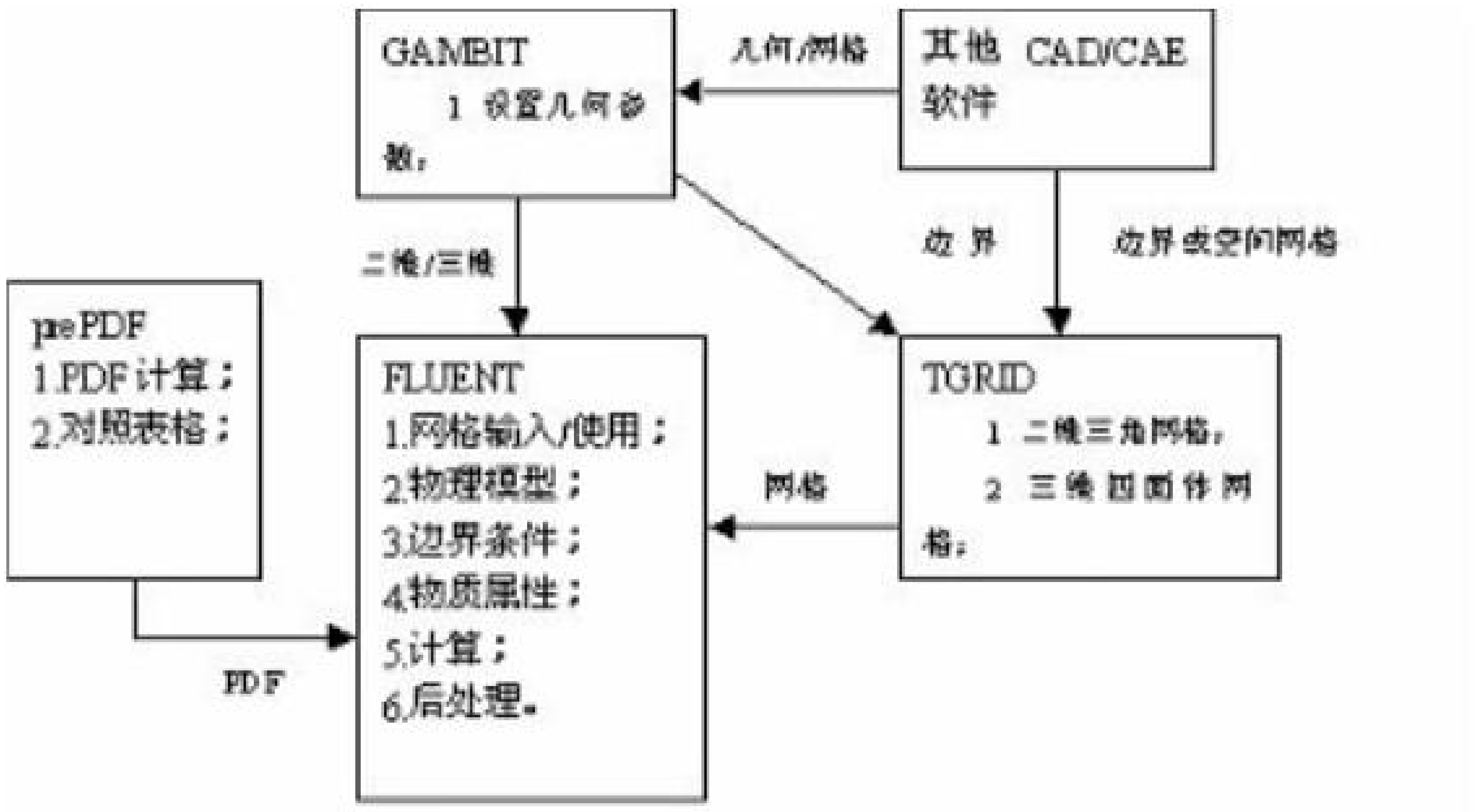


图 1-1 FLUENT 软件各组件之间的关系

GAMBIT 即可以生成用于 FLUENT 计算的网格，也可以生成其他一些 CAE 软件的网

格。一旦网格文件被输入到 FLUENT 中，剩下的工作就由 FLUENT 完成。这些工作包括设定边界条件和物质属性、调整网格、进行计算、对结果进行后处理并显示结果等等。

## 1.1.4 计算类型及应用领域

FLUENT 可以计算的流动类型包括：

（1）任意复杂外形的二维/三维流动。

（2）可压、不可压流。

（3）定常、非定常流。

（4）无粘流、层流和湍流。

（5）牛顿、非牛顿流体流动。

（6）对流传热，包括自然对流和强迫对流。

（7）热传导和对流传热相耦合的传热计算。

（8）辐射传热计算。

（9）惯性（静止）坐标、非惯性（旋转）坐标下中的流场计算。

（10）多层次移动参考系问题，包括动网格界面和计算动子/静子相互干扰问题的混合面等问题。

（11）化学组元混合与反应计算，包括燃烧模型和表面凝结反应模型。

（12）源项体积任意变化的计算，源项类型包括热源、质量源、动量源、湍流源和化学组分源项等形式。

（13）颗粒、水滴和气泡等弥散相的轨迹计算，包括弥散相与连续项相耦合的计算。

（14）多孔介质流动计算。

（15）用一维模型计算风扇和换热器的性能。

（16）两相流，包括带空穴流动计算。

（17）复杂表面问题中带自由面流动的计算。

简而言之，FLUENT 适用于各种复杂外形的可压和不可压流动计算。

## 1.1.5 系统要求

硬件要求:

（1）CPU：采用 Intel 的奔腾系列或 AMD 的 Athlon 系列 CPU。

（2）显示卡：分辨率为 1024x768（或更高），颜色最低要求 256 色，推荐使用 16 位（或 24 位）真彩色。

（3）内存：最低 128 兆内存，推荐使用 512 兆以上的内存。

（4）鼠标：推荐使用三键鼠标，FLUENT 中有些操作需要鼠标中键。

（5）光驱：最低需要 CD-ROM，FLUENT 需要光盘安装。

（6）网卡：需要安装以太网卡，FLUENT 需要网络验证。

（7)硬盘：FLUENT 需要 400 兆，GAMBIT 需要 55 兆，EXCEED 需要 105 兆，TECPLOT 需要 30 兆，一共需要 590 兆硬盘空间。如果需要使用用户定义函数（UDF）编译功能，还需要安装微软的 Visual C++，至少需要 200 兆硬盘空间，再加上为计算项目预留空间，所以推荐在硬盘上预留 5G 以上的硬盘空间用于 FLUENT 计算。

软件要求:

（1）操作系统：UNIX、LINUX、WINDOWS 2000/XP 等等。

（2）网络协议：安装 TCP/IP 协议。

（3）编译环境：如果使用 UDF 编译功能，需要安装 Visual C++标准版，最低要求是采用“最小安装”设置。

（4）EXCEED X server：GAMBIT 运行需要此环境，如果在 GAMBIT 中使用 OpenGL 图形模式，则需要安装EXCEED 3D。EXCEED 3D 需要单独从EXCEED 开发商 Hummingbird 软件公司购买。

## 1.2 软件安装与启动

与 FLUENT 配套使用的软件包括前处理软件 GAMBIT、后处理软件 TECPLOT 和模拟 UNIX 环境的 EXCEED。下面分别介绍这几种软件的安装和启动过程。

### 1.2.1 FLUENT 的安装与启动

FLUENT 的安装

（1）首先在 C 盘上创建目录 C:\flexlm，然后将软件公司提供的 license.dat 文件拷贝到这个目录下。

（2）将 FLUENT 的安装光盘放入光盘驱动器，然后双击 setup.exe 文件启动安装程序，设置好安装目录、工作组名称等选项后，安装程序开始向硬盘拷贝文件。

（3）文件拷贝结束后，在弹出的工作组窗口中双击运行 set environment，设置好环境变量，再将 license（软件使用许可证）服务器的地址设置完毕，重新启动计算机，就可以启动 FLUENT 了。

这里需要说明的是：FLUENT 与我们以往使用的软件不同之处是其安装过程中不需要使用安装密码，而是在每次启动软件之前，通过互联网在 license 服务器上进行软件合法性验证，只有通过验证才能使用。

单精度和双精度求解器

在所有的操作系统上都可以进行单精度和双精度计算。对于大多数情况来说，单精度计算已经足够，但在下面这些情况下需要使用双精度计算：

（1）计算域非常狭长（比如细长的管道），用单精度表示节点坐标可能不够精确，这时需要采用双精度求解器。

（2）如果计算域是许多由细长管道连接起来的容器，各个容器内的压强各不相同。如果某个容器的压强特别高的话，那么在采用同一个参考压强时，用单精度表示其他容器内压强可能产生较大的误差，这时可以考虑使用双精度求解器。

（3）在涉及到两个区域之间存在很大的热交换，或者网格的长细比很大时，用单精度可能无法正确传递边界信息，并导致计算无法收敛，或精度达不到要求，这时也可以考虑采用双精度求解器。

启动 FLUENT

以 WINDOWS NT 为内核的操作系统包括 WINDOWS 2000 和 WINDOWS XP，其启动方式有两种：

（1）从 WINDOWS 的开始菜单中进行启动，即顺序点击：

开始 -> 程序 -> Fluent Inc. -> FLUENT 6.1

就可以启动 FLUENT。

（2）从 DOS 终端窗口启动，即在命令行中：

1）键入“fluent 2d”，启动二维单精度计算。

2）键入“fluent 3d”，启动三维单精度计算。

3）键入“fluent 2ddp”，启动二维双精度计算。

4）键入“fluent 3ddp”，启动三维双精度计算。

如果想启动并行计算模式，可以在上述 4 个命令后面加上-tx 参数，其中 x 是并行计算的 CPU 数量，例如键入“fluent 3d –t3”意思是在三个处理器上运行三维计算。

## 1.2.2 GAMBIT 的安装与启动

GAMBIT 的安装

GAMBIT 的安装与 FLUENT 类似。在安装完 FLUENT 后，点击进入安装盘上的 GAMBIT 目录，找到 setup.exe 文件，双击启动这个安装文件，即开始安装 GAMBIT。经过与 FLUENT 安装类似的工作目录选择、工作组名称选择等设置后，安装程序开始向硬盘拷贝程序，拷贝结束后，安装过程就结束了。

GAMBIT 的启动

GAMBIT 需要在 UNIX 系统下运行，因此为了在 WINDOWS 下运行还需要安装 EXCEED 为 GAMBIT 提供一个模拟的 UNIX 环境。

GAMBIT 的启动方式有两种：一种是在 WINDOWS 系统的“开始”菜单中的“运行”栏里面直接键入命令 gambit –id project（project 是可以任意给定的项目名称）。另一种是在 DOS 环境中，在命令行中键入上述命令启动 GAMBIT。

### 1.2.3 TECPLOT 的安装与启动

TECPLOT 的安装与 WINDOWS 下的常见软件安装一样：

（1）在安装文件所在目录里，双击 setup.exe 文件开始安装。

（2）按照提示点击 NEXT（下一步）按钮，在用户许可协议页面中选择 I agree（我同意）按钮，表示同意上述协议。

（3）在许可代码栏中填入代码。

（4）选择安装目录。

（5）开始拷贝文件。

（6）文件拷贝结束后，重新启动计算机。

（7）双击桌面上的图标，或者在“开始”菜单中找到 TECPLOT，并点击启动软件。

TECPLOT 需要大约 30 兆的硬盘空间，可以在 WINDOWS 系列操作系统下正常运行。

### 1.2.4 EXCEED 的安装与启动

EXCEED 的安装

EXCEED 的安装也与常见软件类似：

（1）假设 F 盘是光驱，进入 F:\EXCEED\XSERVER 目录，双击启动 setup.exe，软件开始对安装环境进行初始化。

（2）软件提示是否同意用户协议，选择 I agree（我同意）进入下一步。

（3）指定安装主目录，比如 D:\Program Files\Exceed.nt。

（4）指定用户目录，比如 D:\Program Files\Exceed.nt\user。

（5）安装程序开始向硬盘拷贝文件，结束时会提示重新启动计算机。

（6）重新启动计算机，就可以使用 EXCEED 了。

因为 EXCEED 仅用于为 GAMBIT 提供一个模拟的 UNIX 环境，所以这里不对 EXCEED 做过多的介绍，详细介绍可以参考 EXCEED 的用户手册。

EXCEED 的启动

在运行 GAMBIT 前，需要先启动 EXCEED，启动方法是在 WINDOWS 的开始菜单中依次选择：

开始 -> 程序 -> EXCEED -> EXCEED

在 GAMBIT 的最新版本中，可以用批命令的方式同时启动 EXCEED 和 GAMBIT。

# 1.3 FLUENT 用户界面

FLUENT 同时采用了图形用户界面和文字用户界面二种界面形式进行操作，下面分别进行介绍。

## 1.3.1 图形用户界面

FLUENT 采用 WINDOWS 风格的图形用户界面，其界面类型主要分为下列四种：

（1）主控窗口。

（2）控制参数面板。

（3）消息窗口。

（4）图形显示窗口。

下面分别进行介绍。

主控窗口

启动 FLUENT 后首先进入的窗口就是主控窗口，见图 1-2。主控窗口分为菜单栏和文字信息窗口两个部分。用户与 FLUENT 软件之间的互动可以用两种方式进行，一种是在下拉菜单中直接选择相应的菜单命令进行操作，或者在弹出的参数控制面板上进行参数选择操作，同时系统通过消息窗口将系统信息直接反映给用户；另一种是在文字信息窗口中键入命令进行操作，系统信息也以文字信息的方式反映在文字信息窗口中，就象在 DOS 环境中一样。与微软公司的 WORD 等软件一样，当窗口中信息量超过一个页面的容量时，页面内容将自动上移，同时窗口右端的滚动条被激活，用户可以通过移动滚动条上的滑块查看滚动出页面的信息。

在命令执行过程中，可以按组合键 Ctrl+C 终止命令的执行。

菜单命令的执行除了可以用鼠标左键点选执行的方式外，还可以通过热键方式进行。比如点击打开 File 菜单的动作，既可以通过将光标移动到 File 上，再按左键点击打开的方式完成，也可以通过热键方式完成。所谓热键方式就是用键盘操作代替鼠标操作的方式，比如上述打开 File 菜单的动作可以用组合键 Alt+F 来完成，而不必移动鼠标。请注意在可以使用热键打开的菜单项中带下划线的字母就是打开这个菜单的“热键”，比如 File 菜单中

字母 F 下面带有下划线，即表示可以通过按组合键 Alt+F 的方式打开。同样，在 Grid 菜单项中，字母 G 下面带有下划线，表示可以通过按 Alt+F 组合键的方式打开，其他菜单与此相同。

在文字信息窗口中可以对显示的信息、命令进行剪切、拷贝、粘贴、删除等编辑操作，方法与微软的 OFFICE 系列软件中一样，即：

（1）首先将光标移动到要进行编辑区域的一角。

（2）按下鼠标左键并拖动到编辑区域的另一角，此时编辑区域被反白显示。

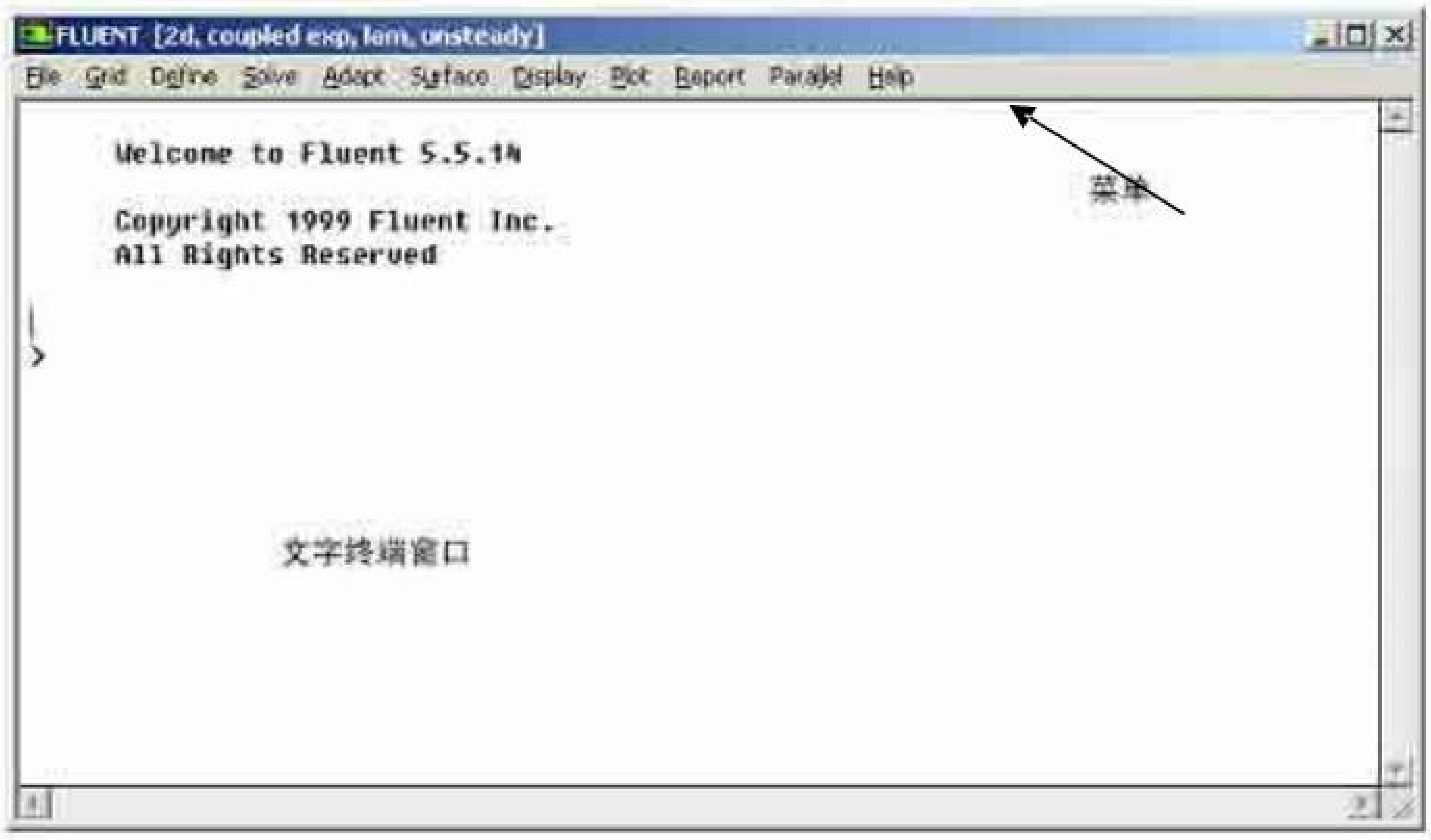


图 1-2 FLUENT 主控窗口

（3）将光标移动到反白显示区域，再按右键弹出编辑操作面板。

（4）在面板上选择剪切、拷贝或删除[1]。

（5）将光标移动到剪切或拷贝的目标位置。

（6）按右键弹出编辑操作面板。

（7）选择粘贴，则完成剪切或拷贝操作。

控制参数面板

控制参数面板类似于一个表格，是 FLUENT 软件中用于输入控制参数的主要形式之一，图 1-3 是用于网格显示操作的一个控制参数面板。

这个面板中包含了一些常见的可视化操作组件，如选择按钮、单选按钮、多选单和文本输入框，以及可以打开其他面板的按钮，如图中的 Display（显示）按钮和 Colors…（颜色）按钮，以及全选按钮和不选按钮。选择按钮和单选按钮被点击选中后，表示在计算中将采用相应的参数设置，再次点击则可以取消该项设置。多选单用于可以进行多重选择的

[1] 若进行删除操作，则到这一步编辑即告结束

场合。具体参数的设置需要人工决定时，则可以使用文本输入框输入相应的参数。点击全选按钮可以将多选框中所有选项选中，点击不选按钮则可以取消所有选择。

除了图 1-3 中所示的组件外，FLUENT 中还使用下拉菜单（图 1-4a）和单选菜单（图 1-4b）进行单一选择操作。FLUENT 除了使用直接的文字输入进行参数设置，还使用整数增减框（图 1-5a）和滑尺（图 1-5b）进行数字的输入操作。如同其他 WINDOWS 风格的软件一样，FLUENT 中也使用“标签”组件，以便在同一个面板中选择不同种类或群组的输入操作（图 1-6）。

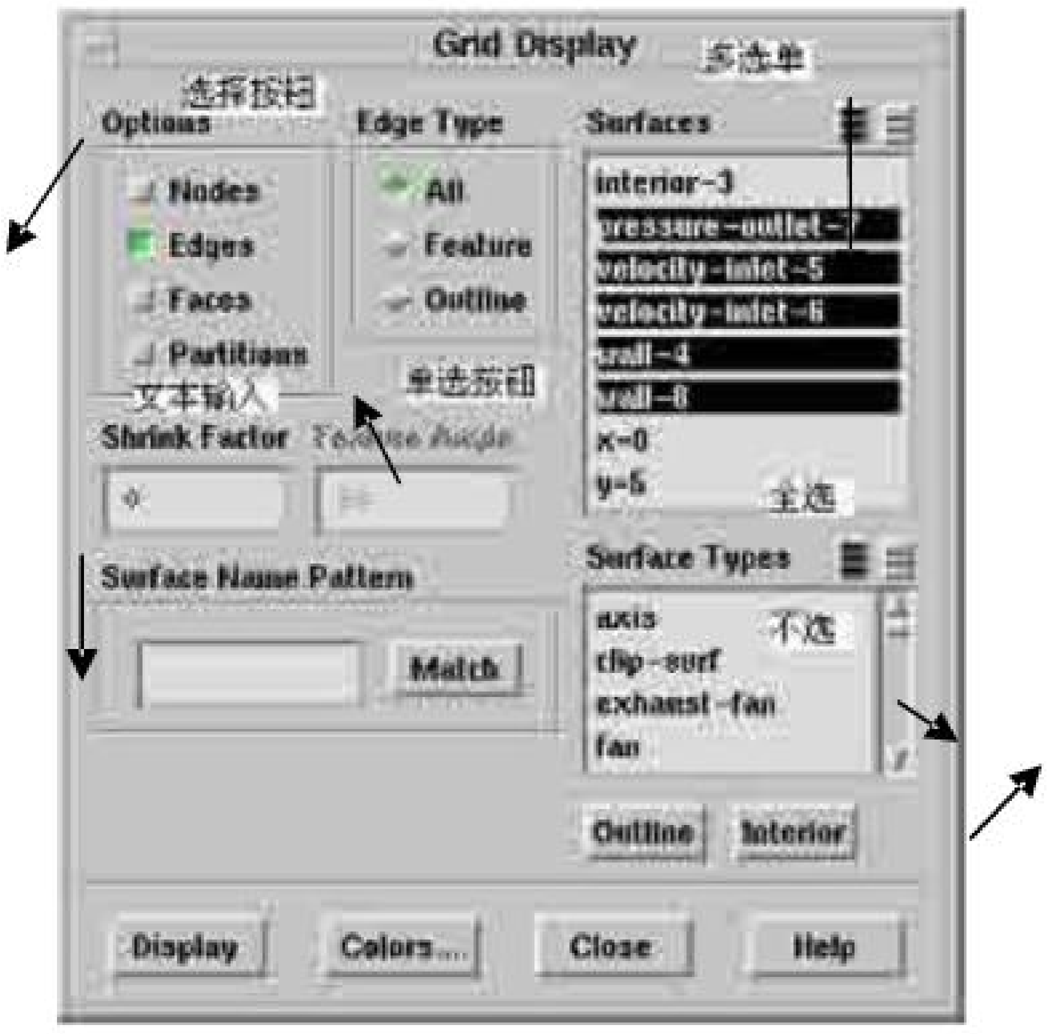

图 1-3 控制参数面板

图 1-4a 下拉菜单

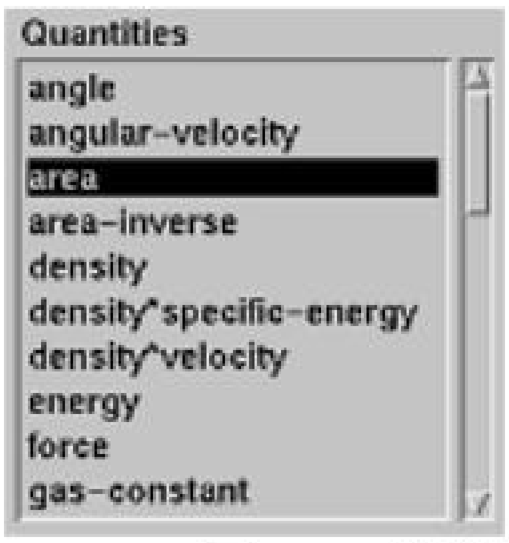

图 1-4b 单选菜单

整数增减框通过其右端的增减按钮来控制数值变化，数值显示在方框中。滑尺则通过拖动滑块完成数值输入工作，其数值显示在滑块上方。

图 1-5a 整数增减框

图 1-5b 滑尺

用鼠标点击不同的标签，则相应的选项就显示在标签下方，输入操作就可以开始进行。

在一项输入操作完成后，可以点击其他标签进行其他输入操作。比如在图 1-6 中，我们可以首先选择 Thermal（热力学）标签进行与热力学参数设置相关的操作，然后可以点击 Momentum（动量）标签进行与动量参数相关的的操作，等等。

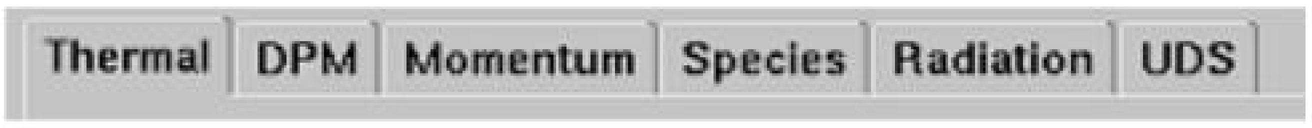


图 1-6 标签

FLUENT 中的 OK、APPLY（应用）等按钮表示在计算中采纳面板中的输入值。CLOSE（关闭）按钮表示关闭面板，CANCEL（取消）按钮表示取消所有设置并关闭面板，HELP（帮助）按钮则进入在线帮助。这些常规组件的使用方法与其他 WINDOWS 风格软件一样，关键是要在理解问题的基础上进行选择，其操作则为大家所熟知，故不在此赘述。

消息窗口

在 FLUENT 的运行过程中，系统会根据需要弹出一些消息窗口，向用户提供系统信息，或提示用户进行一些简单的操作。

图 1-7a 是一个出错信息窗口，用户阅读过信息后可以点击 OK 键关闭窗口。

图 1-7a 系统消息

图 1-7b 工作信息

图 1-7b 是一个工作信息窗口，这个窗口告诉用户系统正在进行的工作信息。

图 1-9 是文件选择窗口，系统弹出这个窗口让用户选择要进行读写操作的文件。文件选择窗口的外观在大多数情况下与图 1-9 中的窗口类似，只是在选择绘制 XY 曲线文件时有所不同。

文件选择窗口的使用方法如下：

（1）进入工作目录。

在 Filter（过滤器）一栏中将完整的工作目录输入进去，然后点击 Filter 键，或在键盘上按回车键。也可以直接在下面的 Directories（文件夹）栏中双击相应的目录都可以进入相应的工作目录。注意在 Filter 栏中可以指定需要显示的文件类型，比如用星号“*”显示所有文件，用“*.dat*”显示扩展名为.dat 的文件等等。

与 DOS 系统相类似，Directories 中的单点“.”代表当前目录，双点“..”代表上级子目录。

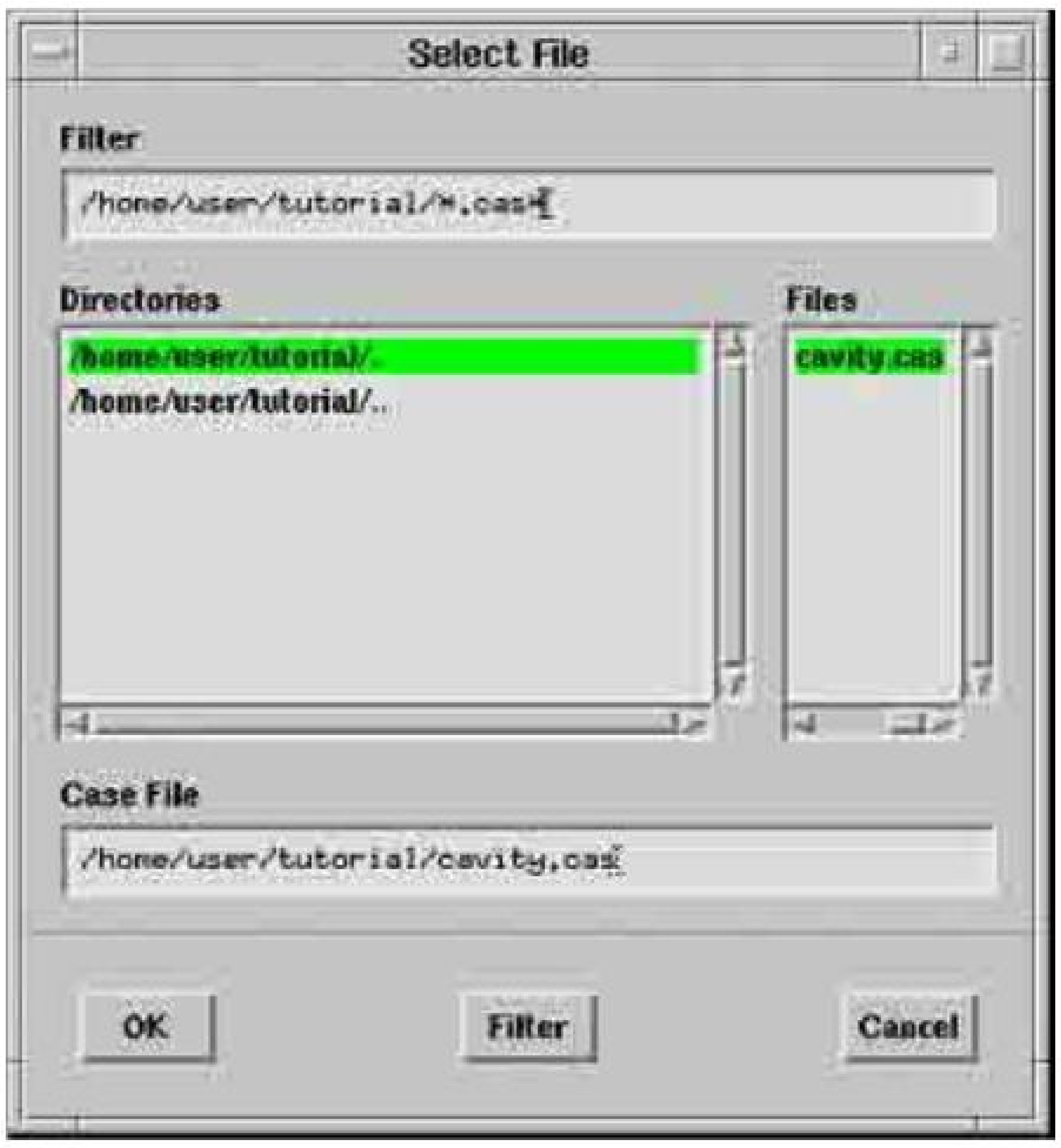


图 1-9 Select（选择文件）窗口

（2）指定文件名。

可以双击 Files（文件）栏中的文件名选定文件，也可以在 Case Files（算例文件）栏中直接输入文件的完整路径和名字以指定文件。

如果是在图 1-10 所示的 XY 文件选择窗口中进行操作，则被选中的文件会被添加到“XY Files”栏中。如果选择的文件不只一个，则所有文件都会列在这个“XY Files”栏中。如果选择有错误，可以在“XY Files”中选中被误选的文件，然后按 Remove（移除）键就可以将它从文件清单中清除。

如果需要保存的文件是算例（case）文件、数据（data）文件或辐射（radiation）文件，用户可以将文件保存为二进制文件，因为二进制文件占用的磁盘空间小，操作速度快。

（3）结束操作。

在上述操作结束后，可以按 OK 按钮，或直接按键盘上的回车键结束操作。

图形显示窗口

图形显示窗口是 FLUENT 软件用来显示图形输出的窗口，见图 1-10。在主控窗口执行菜单操作：

Display –> Options

打开 Display Options（显示选项）面板，在这个面板中可以对图形显示方式进行设定。

执行菜单操作：

Display -> Mouse Button

打开 Mouse Buttons（鼠标按键）面板，在这个面板中可以对图形显示窗口中的鼠标操

作进行设定。

在 WINDOWS 系统中，可以对图形显示内容的打印方式进行设置，方法是点击图形显示窗口左上角的按钮，除了常规的窗口移动、改变尺寸和关闭操作外，WINDOWS 版的 FLUENT 中还提供 copy to clipboard（拷贝到剪切板）、print（打印）和 page setup panel（页面设置）三个命令：

（1）copy to clipboard（拷贝到剪切板）：即将图形窗口中的内容拷贝到 WINDOWS 的剪切板中，以便进行复制、打印等操作。

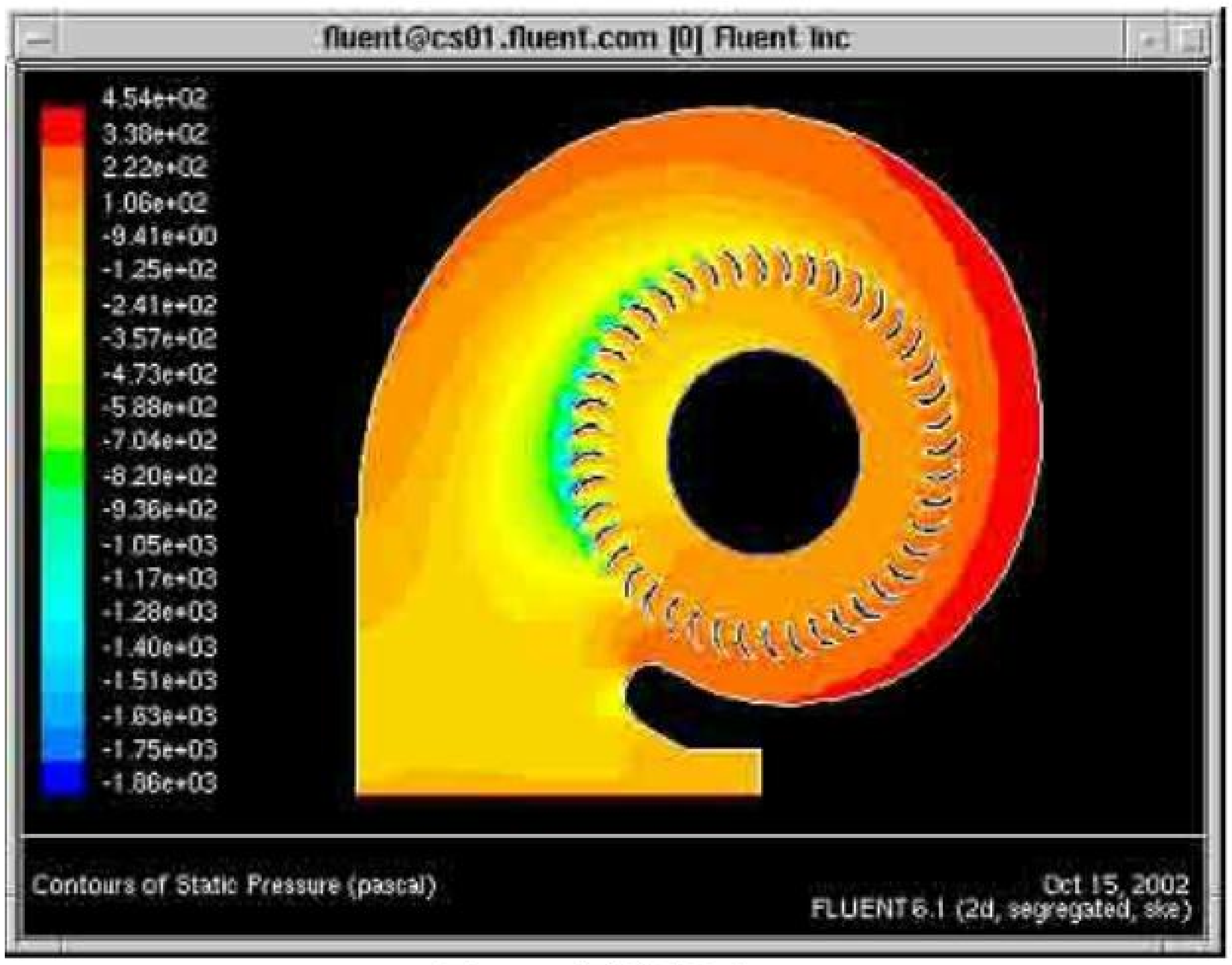


图 1-10 图形显示窗口

（2）print（打印）：即将图形窗口中的显示内容传送到打印机进行打印操作，与打印相关的参数设置在“页面设置”中进行。

（3）page setup panel（页面设置）：即对要打印的图形内容进行图形格式、打印比例等参数的设置，其中图形格式一栏中可以将图形格式设为 Vector（矢量）或 Raster（光栅）。其中 Vector（矢量）格式清晰度高，但操作速度较慢，Raster（光栅）格式清晰度稍差，但操作速度较快，用户可以根据自己的需要决定图形格式。

## 1.3.2 文字用户界面

FLUENT 除了可以用前面讲的图形用户界面进行操作外，还可以使用类似 DOS 命令的文字命令进行操作。FLUENT 是用 LISP 语言的一个分支 Scheme 语言写成的，如果熟悉这套命令系统的话，用户可以更灵活地操作 FLUENT 系统。

文字菜单系统

在 FLUENT 启动后，用户可以通过在命令提示行中键入命令来完成菜单操作。键入的命令可以被保存、编辑，而且与 Scheme 语言紧密结合，因此通过编程完成复杂的功能操作。文字菜单系统具有树型结构，在 FLUENT 启动后，首先进入的位置就是根目录，在屏幕上用提示符“>”表示根目录位置：

图 1-11 文字菜单系统

键入命令或命令的缩写形式，就可以进入相应的子菜单，比如键入“display”：

> display

就可以进入 display 子菜单，屏幕提示为：

/display>

此时如键入“q”，则返回上级菜单。屏幕显示为：

/display> q

>

命令的缩写形式通常为命令的前几个字母，如果命令是由几个词组成的，则可以将各单词的第一个字母用连字符连在一起，或者直接连在一起作为命令的缩写，比如命令 set-ambient-color，可以缩写成 s-a-c，或者 sac，甚至可以缩写成 sa。这个缩写的基本规律在特殊情况下可能失效，比如命令 light-interpolation 的缩写，不能采用 lint 的形式，因为 li 被包含在单词 light 中，因此上述缩写不被系统看作 l-int 的形式，而是看作 li-nt 形式，li 对应于 light，而 nt 则是系统无法识别的。在这种情况下，可以采用 liin 的缩写形式，或者采用 l-int 的缩写形式，以避免系统错误。

如果键入的命令是以圆括号“(”开始的，则括号内的内容会被完成地传送到系统中，系统会对括号内的内容进行运算，并给出结果。例如：

> (define a 1)

> a
> (+ a 2 3 4)
> 10

上述计算的含义是：

（1） 定义变量 a 等于 1；

（2） 屏幕显示“a”；

（3） 计算“a+2+3+4”的值；

（4） 屏幕显示结果“10”。

文字提示系统

使用文字用户界面还可以完成一些数据、文字的输入工作，比如给变量赋值，在布尔运算中回答 yes（是）或 no（否）等等。这部分工作是在文字提示系统下完成的。所谓文字提示系统是 FLUENT 软件中的一个子系统，这个子系统为用户提供一项在字符界面下的输入功能。

在系统需要用户输入相关参数的时候，在字符界面的提示符后面会出现提示信息。这个提示信息一般由三段组成：第一段是文字信息，提示用户需要输入何种参数信息；第二段被包含在圆括号中，提示用户输入参数的单位；第三段被包含在方括号中，是系统缺省设置的参数数值。其中第二段只在需要标明参数单位的时候出现。

下面是两个提示信息的例子：

filled grids? [no]

shrink-factor [0.1]

如果接受系统的缺省设置，可以直接按回车键；如果不接受系统设置，可以键入一个参数值代替系统设置。

文字提示系统可以输入的数据类型如下：

（1）数字：在数字提示系统中可以输入的数字包括十进制、二进制、八进制和十六进制数，比如数字 31 可以用下列几种方式输入：31，#b11111,#o37 和 #x1f。可见除十进制数字外，其他类型的数字输入都需要在前面加上“#”供系统识别。另外，因为在 Scheme 语言中整数是实数的一个子集，所以在输入上没有区别，就是说输入“2”和“2.0”是完全等价的。

（2）布尔型数据：在需要进行布尔型输入的时候，用户可以直接输入“yes”或“no”，也可以输入缩写形式“y”或“n”，还可以直接输入 Scheme 语言中代表“真”和“假”的布尔型数值：#t（代表“真”）或#f（代表“假”）。

（3）字串：字串的输入需要使用双引号，比如在输入绘图标题等内容时可以输入：“Supersonic Combustion”。在双引号中可以包括任何字符，FLUENT 对此没有限制。

（4）符号：符号的输入不需要使用引号，但是符号之间不允许有空格或逗号。

（5）文件名：文件名实际上就是一个字串，区别是文件名不需要使用引号加以限定，除非文件名中包含空格。在这项规定下，文件名不能被赋值给一个变量，比如：

> (define fn “vla.ps”)

fn

>hc fn

这段语句的原意是将文件名的值“vla.ps”赋给变量 fn，然后在硬盘上写出这个文件，但是在实际执行过程中，系统将把文件内容写入文件“fn”，而不是“vla.ps”，原因就是第一步中的赋值过程没有被系统执行。

（6）列表组（List）：列表项类似于 FORTRAN 语言中的一维数组，其中的各个单元的数值可以逐个输入，也可以整体输入，输入一个空的单元可以结束整个输入过程，比如：

> element(1) [()] 1

> element(2) [()] 10

> element(3) [()] 100

> element(4) [()] ↙

上面四行将 1、10、100 分别输入给列表组的前三个单元，最后一行为空行，按回车键后结束输入。再比如：

> element(1) [(1)] ↙

> element(2) [(10)] ↙

> element(3) [(100)] ↙

> element(4) [()] 1000

> element(5) [()] ↙

可以在原列表组中增加一个单元，同时给它一个值 1000。如果进行下列输入：

> element(1) [(1)] , , ‘(11　12　13) ↙

则前面两个逗号表示原列表组中的前两个单元值保持不变，后面三个单元用整体输入’()的形式增加了三个新的单元数值，最后这个列表组包含了五个单元，其值依次为 1、10、11、12、13。输入（）表示删除当前行及后面所有单元，进行下列操作可以将整个列表组删除：

> element(1) [(1)] () ↙

（7）赋值：除了上面说的文件名输入外，其他输入在被执行前都要按照 Scheme 语言格式被 Scheme 解释器进行赋值操作。比如将一个单位矢量的一个分量设置为 $\frac{1}{3}$，就可以进行下列输入操作，同时系统会完成其中的赋值操作：

/foo > set –xy

x-component [1.0] ( / 1 3)

y-component [0.0] (sqrt ( / 8 9))

上面的输入中方括号中为系统缺省值，圆括号中为输入内容。注意 Scheme 语言的运算格式，（/　1　3）的意思是 1 除以 3，其结果是 $\frac{1}{3}$。

也可以通过函数定义的方式来达到上述计算目的：

> (define (unit –y x) (sqrt ( - 1.0 ( ∗ x x))))

unit –y

```
/foo > set –xy
x-component [1.0] (/ 1 3)
y-component [0.0] (unit –y (/ 1 3))
```

注意上述定义函数的过程中( - 1.0 ( * x x)的意思是$1-x^2$，运算符仍然是放在数字前面。在命令执行的过程中按组合键 Ctrl+C 可以随时中断运行。

# 1.4 FLUENT 文件读入与输出

FLUENT 除了可以读入、输出必要的网格文件、算例文件和进程文件外，还保存了与 FLUENT 公司的其他软件的接口，这些软件包括 FLUENT/UNS、RAMPANT、FIDAP 、FLUENT4 等等，同时还有与 I-DEAS 和 ANSYS 的接口。所有的读入与输出操作均可以在 File 菜单中完成，本小节将逐项进行介绍。

## 1.4.1 读取网格文件

网格文件是包含各个网格点坐标值和网格连接信息[2]，以及各分块网格的类型和节点数量等信息的文件。在 FLUENT 中，网格文件是算例文件的一个子集，因此在读取网格文件时可以用菜单操作：

File -> Read -> Case

打开菜单并读入网格文件。当然这些网格文件的格式必须是 FLUENT 软件内定的格式。可以用来生成 FLUENT 内定格式网格的网格软件有 GAMBIT、TGrid、GeoMesh 和 preBFC。

除了使用 FLUENT 内定格式的网格文件外，FLUENT 还可以输入其他格式的网格文件。其他格式文件输入的菜单操作是

File –> Import

然后再打开相应格式的输入菜单完成的，其对应关系如下：

（1）GAMBIT：读入 GAMBIT 生成的中性（neutral）网格文件。

（2）preBFC Structured Mesh：读入 preBFC 生成的结构网格文件。

（3）ANSYS：读入 ANSYS 文件。

（4）IDEAS Universal：读入 I-DEAS 通用格式的文件。

（5）NASTRAN：读入 NASTRAN 文件。

（6）PATRAN：读入 PATRAN 分区网格。

（7）CGNS ->Mesh：读入 CGNS（CFD General Notation System，计算流体动力学通用记号系统）[3]格式的网格文件。

---

[2] 即各个网格单元将如何连接在一起的信息。

[3] CGNS 是网格文件的一种格式，据说有可能成为网格文件的工业标准。

（8）CGNS -> Mesh&Data：读入 CGNS 网格文件及相关数据。

需要说明的是，在一个算例文件中既包含了关于网格的信息，也包含了关于边界条件、物性参数以及与计算过程相关的一些参数。在需要改变网格文件时，可以通过读入新文件并将它合并到原来的算例文件中的方式来替换原来的网格信息。不过新的网格必须在结构上和分块方式上与原来的网格相同，否则计算将出现错误。

## 1.4.2 读写算例文件和数据文件

在 FLUENT 中与数值模拟过程相关的信息保存在算例文件和数据文件里。在保存文件时，可以选择将文件保存为二进制格式或纯文本格式。二进制文件的优点是占用系统资源少，运行速度快。FLUENT 在读取文件时可以自动识别文件格式。FLUENT 还可以根据计算开始前的设置，在间隔一定的迭代步数时自动保存文件。

读写算例文件

如前所述，算例文件中包含了网格信息、边界条件、用户界面、图形环境等信息，其扩展名为.cas，其读入操作可以按下列次序点击菜单，打开文件选择窗口，就可以读入所需的算例文件了：

File -> Read -> Case

与此相类似，按下列次序点击菜单，打开文件选择窗口，就可以保存算例文件了：

File -> Write -> Case

读写数据文件

数据文件记录了流场的所有数据信息，包括每个流场参数在各网格单元内的值以及残差的值，其扩展名为.dat。

数据文件的保存过程与算例文件类似，执行菜单操作：

File -> Read -> Data

打开文件选择窗口就可以读入数据文件。

执行菜单操作：

File -> Write -> Data

则可以保存数据文件。

同时读写算例文件和数据文件

算例文件和数据文件包含了与计算相关的所有信息，因此使用这两种文件就可以开始新的计算。在 FLUENT 中可以同时读入或写出这两种文件，执行菜单操作：

File -> Read -> Case&Data…

打开文件选择窗口，然后选择相关的算例文件完成读入工作，FLUENT 会自动将与算

例有关的数据文件一并读入。类似地，执行菜单操作：

File -> Write -> Case&Data…

打开文件选择窗口，然后选择 Save（保存），就可以将与当前计算相关的算例文件和数据文件同时保存在相应的目录里。

自动保存算例和数据文件

在 FLUENT 中还可以使用自动保存功能以减少人工操作。使用这项功能，可以设定文件保存频率，即每隔一定的迭代步数就自动保存算例和数据文件，菜单操作为：

File -> Write - > Autosave…

于是 Autosave Case/Data（自动保存算例和数据文件）面板被打开，如图 1-12 所示。可以分别设定算例文件和数据文件的保存间隔。在系统缺省设置中，文件保存间隔为 0，即不做自动保存。

在文件名一栏中可以为需要保存的文件命名，如果在命名过程中没有使用扩展名，则系统会自动为所保存的算例文件和数据文件分别加上.cas 或.dat 的后缀。如果在命名过程中使用.gz 或.z 的后缀，则系统会用相应的压缩方式保存算例文件和数据文件。这里.gz 和.z 是 FLUENT 中压缩文件格式。

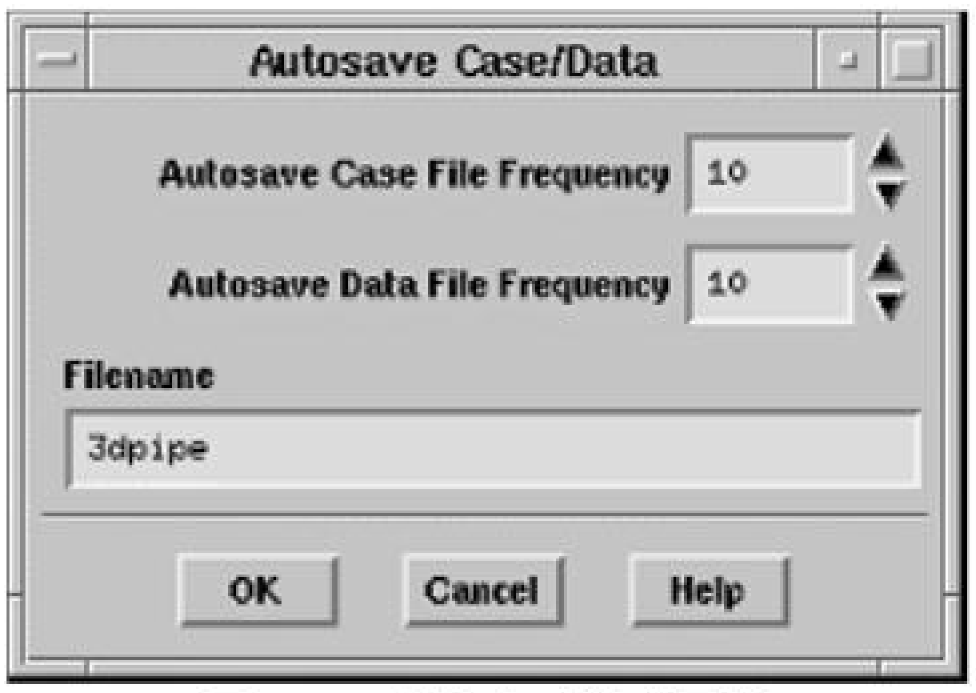


图 1-12 文件自动保存面板

## 1.4.3 读入 FLUENT/UNS 和 RAMPANT 的算例和数据文件

FLUENT/UNS 和 RAMPANT 是老版本 FLUENT 的两个分支。FLUENT/UNS3、4 两个版本和 RAMPANT2、3、4 三个版本生成的算例文件和数据文件可以直接读入 FLUENT，操作方法与前面讲的 FLUENT 算例文件和数据文件的读入相同，这里不再重复。

使用 FLUENT/UNS 的算例文件系统会自动将求解器设为分离求解器。使用 RAMPANT 的算例文件，系统会自动将求解器设置为耦合显式算法。

### 1.4.4 读入 FLUENT4 算例文件

执行菜单操作：

File -> Import -> FLUENT 4 Case…

可以打开文件选择窗口，读入 FLUENT4 算例文件。FLUENT4 的算例文件中只包含网格信息和网格分区信息，因此在读入算例文件后，还要进一步设定材料属性、边界条件、求解控制参数等其他相关参数，然后才能开始计算。

### 1.4.5 读入 FIDAP 算例文件

执行菜单命令：

File -> Import -> FIDAP…

可以打开文件选择窗口，读入 FIDAP 算例文件。与 FLUENT4 相同，FIDAP 算例文件中也只包含网格信息和网格分区信息，在读入算例文件后同样需要设定材料属性、边界条件，然后才能开始计算。

### 1.4.6 创建与读取进程文件

进程文件（journal file）是一个 FLUENT 的命令集合，其内容用 Scheme 语言写成。可以通过两个途径创建进程文件：一个是在用户进入图形用户界面后，系统自动记录用户的操作和命令输入，自动生成进程文件；另一个是用户使用文本编辑器直接用 Scheme 语言创建进程文件，其工作过程与用 FORTRAN 语言编程类似。

进程文件中可以使用注释语句，Scheme 语言用分号“；”作为注释语句的标志。在一行语句前面使用分号“；”，则表明该行为注释行，用户可以在注释行中为进程文件添加说明信息，也可以锁定一些无用的命令行。

使用进程文件可以重复过去的操作，包括恢复图形界面环境和重复过去的参数设置等等。形象地说，使用进程文件就是重播用户曾经进行的操作，这个重播过程中包含了用户曾经进行过的各种有用和无用的操作过程。因此其使用效率比下面将介绍的描述文件要低。

执行菜单操作：

File -> Write -> Start Journal

系统就开始记录进程文件。此时原来的 Start Journal（开始进程）菜单项变为 Stop Journal（终止进程），点击 Stop Journal（终止进程）菜单项则记录过程停止。

执行菜单操作：

File -> Read -> Journal

打开选择文件窗口，选择要打开的进程文件，然后点击 OK 按钮就可以打开进程文件。

## 1.4.7 创建记录文件

与进程文件类似，记录文件（transcript file）也是用 Scheme 语言写成的，可以记录用户的所有键盘输入和菜单输入动作，不同的是记录文件不能被读入进行重播操作。记录文件只是为计算做一个完整的操作记录，以便在程序出错时可以回过头来进行检查。

录制进程文件菜单项的下方就是录制记录文件的菜单项，其录制和停止过程也与进程文件类似，即执行菜单操作：

File -> Write -> Start Transcript…

就开始录制记录文件。执行菜单操作：

File -> Write -> Stop Transcript…

则停止录制过程。

## 1.4.8 读写边界函数分布文件

边界函数分布文件（profile file）用于定义计算边界上的流场条件，比如可以用边界函数分布文件定义管道入口处的速度分布。边界函数分布文件的读写操作如下：

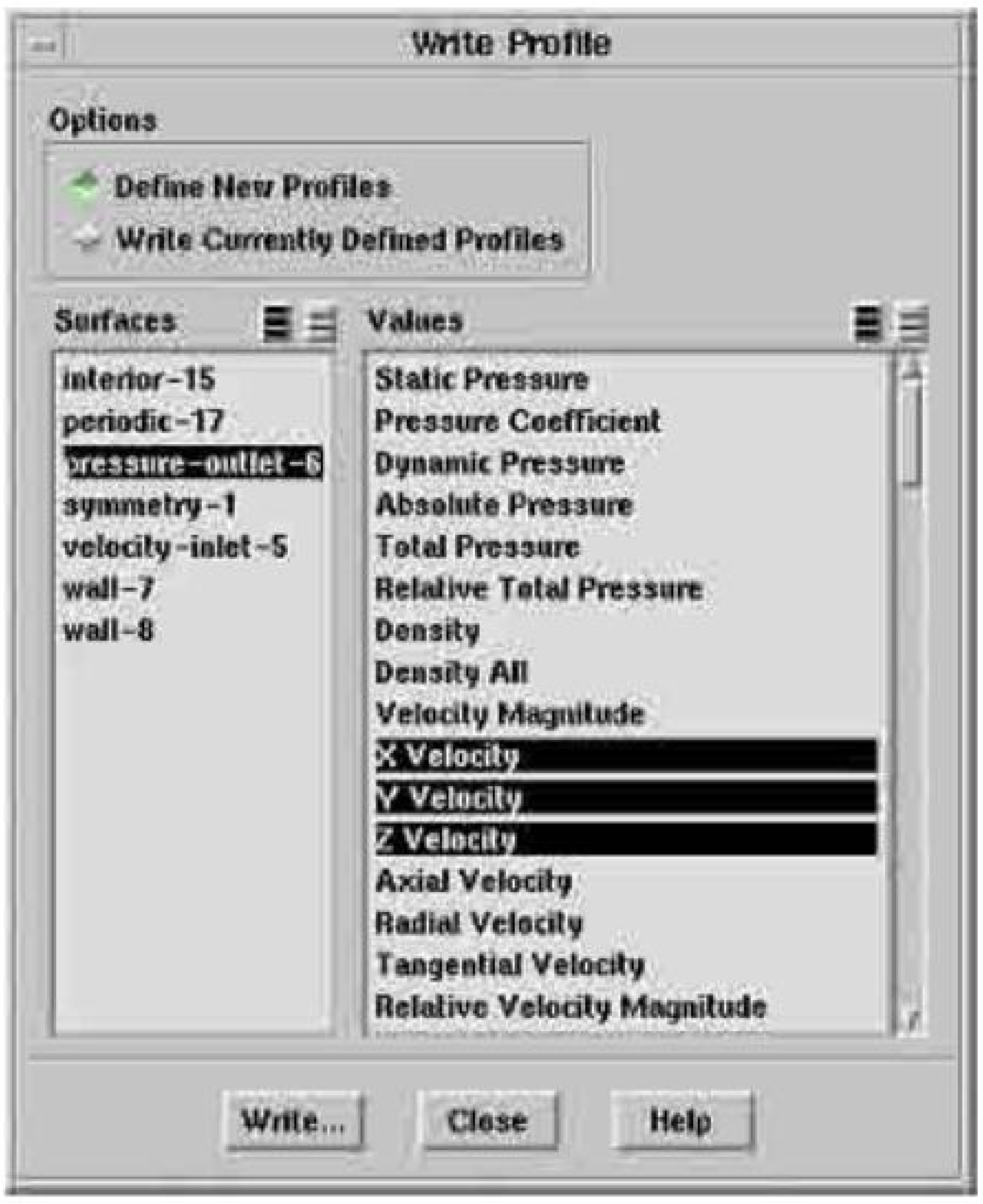


图 1-13 Write Profile（写边界函数分布）面板

（1）执行菜单操作：

File -> Read -> Profile…

打开文件选择窗口，然后选择文件，既可读入边界函数分布文件。

（2）执行菜单操作：

File -> Write -> Profile…

打开定义函数分布文件面板（图 1-13），选择创建新的边界文件还是覆盖原有文件，同时在 Surface（表面）中选择要定义的边界区域，再在 Value（值）中选择要指定的流场参数，点击 Write（写）按钮就可以生成边界函数分布文件。

边界函数分布文件既可以用在原来的算例中，也可以用在新的算例中。例如在管道计算中，用户为出口定义了速度分布，并将它保存在一个边界函数分布文件中。在计算另一个新的算例时，用户可以读入这个文件作为新的管道计算的出口条件。

## 1.4.9 读写边界条件

如欲将计算中所有边界条件保存在一个文件中，可以执行下列菜单操作：

File -> write-bc

FLUENT 将把边界条件、求解器和计算模型的设置全部保存在一个文件中，文件的格式与算例文件中的 zone（区域）部分相同。

执行下列菜单操作读入边界条件：

File -> Read-bc

读入边界条件后，FLUENT 将把边界条件中的区域名称与计算中使用的区域名称进行对比，名称相同的区域中将采用相同的边界条件。如果边界条件文件中的区域名称在计算模型中没有与之对应的区域，则计算会对这部分边界条件忽略不计。如果计算模型中的区域与边界条件中区域的划分方式有所不同，比如改变了某个区域划分的拓扑结构，那就需要在读入边界条件后，进行边界条件的检查，保证边界条件与其对应的边界是相互吻合的。

如果边界条件文件中的一系列设置是应用到名称相似或名称还没有确定下来的边界上，可以使用星号“*”做省略处理。比如边界条件准备应用到 wall-11、wall-12 和 wall-15 上，就可以通过编辑边界文件将边界名称设置为 wall-*的方式达到目的。

另外，还可以将边界网格写入单独的文件，相应的菜单操作是：

File -> Write -> Boundary Grid

在打开的文件选择窗口中保存文件即可。在用户对网格不满意时，可以先将边界网格保存起来，然后再用 Tgrid 软件读入这个网格文件，并重新生成满意的立体网格。

## 1.4.10 保存图像文件

图形显示窗口显示的图像可以用很多种方式和文件格式进行保存。保存方式包括使用 FLUENT 软件内部工具进行保存，也可以使用第三方图形软件保存屏幕显示图象。

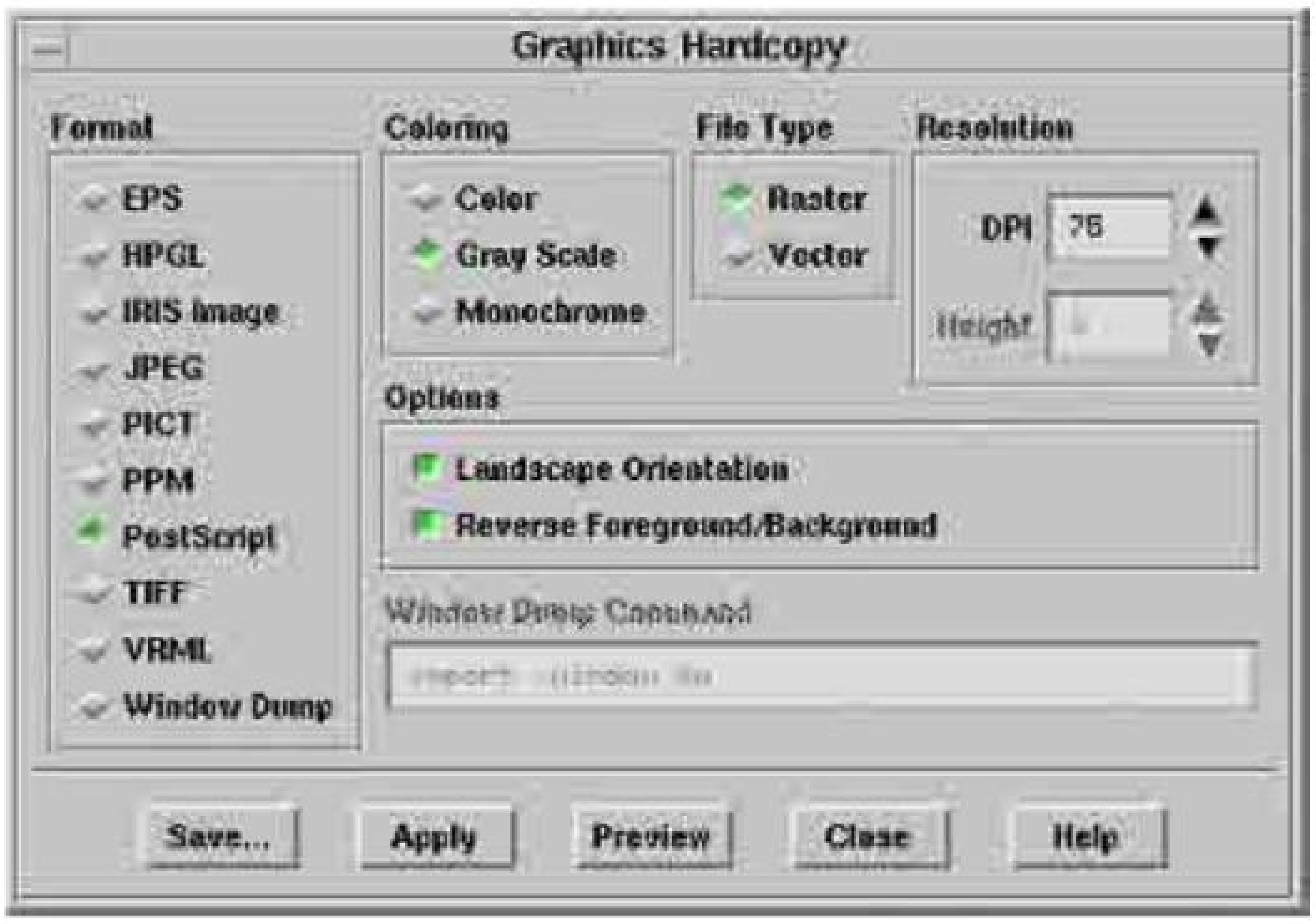


图 1-14 图像文件硬拷贝面板

图 1-15 导出数据面板

FLUENT 内部有一个 Graphics Hardcopy（图形文件硬拷贝）面板，在保存图像文件前，可以使用这个面板对图像文件的保存格式、颜色方案等进行设置，如图 1-14 所示。

在这个面板上可以选择图像文件格式、颜色方案、文件类型、分辨率和方向，并可以预览图像文件。图像文件格式的差别不大，可以根据需要进行选择。颜色方案是选择将文件保存为彩色图像、灰度图像或单色图像。文件类型可以为光栅格式和矢量格式，区别是光栅格式的文件读写速度较快，但是图像质量较差；矢量格式读写速度慢但是图像质量高。

在设置完成后，先用 Preview（预览）按钮检查图像是否满足需要，如果跟自己的预想相去甚远，则重新调整上述几项参数设置；如果对预览结果满意，则可以按 Save（保存）按钮保存图像。如果想了解参数的含义，可以按 Help（帮助）按钮获得在线帮助信息。

### 1.4.11 导出数据

FLUENT 中设置了与其他软件的数据接口，通过这些接口可以与其他软件进行数据交换，比如 FLUENT 的计算结果和网格数据可以用与其他软件兼容的格式进行保存，从而大大方便了利用其他软件对 FLUENT 的数据结构进行处理。FLUENT 目前可以兼容的导出格式包括 ABAQUS、ANSYS、ASCII、AVS、CGNS、Data Explorer、EnSight (过去称为 MPGS )、FAST、Fieldview、I-DEAS、NASTRAN、PATRAN、RadTherm 和 Tecplot 格式。

需要注意的是，FLUENT 不支持表面（surface）数据。如果导出的文件中带有指定的表面，那么这样的文件将不能重新导入 FLUENT。不过 FLUENT 的网格生成软件 TGrid 支持表面数据。另外，I-DEAS 软件不支持金字塔型的网格划分方式，所以如果网格中带有金字塔型网格的数据，I-DEAS 将无法识别这样的数据。EnSight6 和结构化 FieldView Case+Data 数据可以用 FLUENT 并行版输出。

FLUENT 导出数据是在导出数据面板中完成的，如图 1-15 所示。执行菜单操作：

File -> Export

弹出导出数据面板，执行如下操作就可以将文件导出：

（1）在 file types（文件类型）中选择准备导出的文件类型。

（2）如果选择的是 ABAQUS、ASCII、Data Explorer、I-DEAS Universal、NASTRAN、PATRAN 或 Tecplot，接着在 surfaces（表面）列表中选择要将哪个表面的数据导出。如果不做任何选择，就意味着将整个计算域内的数据导出。对于 RadTherm 文件，只有固壁表面上的数据可以被导出。

（3）除了 ANSYS、FAST Solution 和 RadTherm 三种文件，其他文件格式都要求在 Function to Write 中选择导出变量。

（4）ABAQUS、ASCII、I-DEAS Universal、NASTRAN 和 PATRAN 五种文件格式还要求指定载荷类型，载荷类型包括力、温度和热流通量三种类型。这些载荷将构成有限元计算的载荷矩阵。如上所述，如果没有指定边界面，则整个计算域将被输出到导出文件中，而载荷数据则被写在计算域的外边界壁面上。

（5）ASCII 文件要求指明分隔符和采样点位置，即需要指明上述数据是边界点上的数

据，还是网格单元中心点上的数据。

（6）在需要的时候，还要定义 transient（暂态）导出参数：

1）对于 EnSight 6 和 EnSight Case Gold 文件，可以定义时间步数和文件名称。在计算过程中，当到达定义的时间步数时，所有的几何、速度和标量文件，即所有以.geo、.vel 和.scl1 为扩展名的文件，都会被自动输出到硬盘上。同时时间的值和与其相对应的暂态文件名也被保存在 EnSight 算例文件（即.encas 文件）中。也就是说，暂态文件记录的是某一时刻流场计算的结果，而这些文件的集合则成为流场按时间变化的历史记录。最后，点击 Apply 按钮保存设置。

2）对于其他格式的文件，暂态文件是在执行命令面板上完成的，如图 1-16 所示。命令可以直接键入命令栏中，其一般格式如下：

file/export/ file-type file-name [ list-of-surfaces () ] [ yes|no] [ list-of-scalars q]

其中方括号中的内容是根据文件类型选填的：

- 命令中 file-type（文件类型）是导出文件的类型，比如用 fieldview-uns 代替 file-type，表示导出文件的格式是 Filedview Unstructured。
- file-name（文件名）是导出文件的名称。在文件名称与原有文件名相同时，FLUENT 会弹出提示信息，提示用户是否覆盖原文件。如果用户希望将不同时间步的结果保存到不同的文件中去，可以在文件名中使用字串%t，FLUENT 在导出文件时会将这个字串替换为相应的时间步数。比如，如果用户在命令行中键入的导出文件名为 field-%t，则第一步保存的文件名就是 field-0001，而第一百步保存的文件名就是 field-0100。
- list-of-surfaces（表面列表）。如前面所述，某些文件格式需要指定导出表面。表面列表就是在使用这类格式时，由导出表面的名称或 ID 组成的列表。圆括号“()”是列表的结尾标志。例如，输入“outlet-3 wall-2 5（）”，表示名为 outlet-3、wall-2 的表面和 ID 为 5 的表面将被写入导出文件。注意这里的 ID 不是网格分区的 ID，而是表面的编号。
- list-of-scalars（标量列表）是在使用某些文件格式的时候，指定需要输出的单元函数列表。“q”是这个列表的结尾标志。例如，输入“x-velocity cell-volume q”，将把 x 方向的速度和网格单元的体积作为输出函数写入导出文件。
- yes（是）和 no（否）选项对应的问题是“是否覆盖同名文件？”，即如果同意覆盖硬盘上存在的同名文件，就选 yes；反之，选 no。

图 1-16 执行命令面板

（7）在使用 RadTherm 文件格式时，还要选择写 Heat Transfer Coef.（热交换系数）的方法，即选择 Flux Based（基于通量）形式，还是 Wall Function（壁面函数）形式。

（8）除了 EnSight 格式，其他文件格式都使用 Write...（写出）键保存所有设置。

## 1.4.12 网格之间解的插值

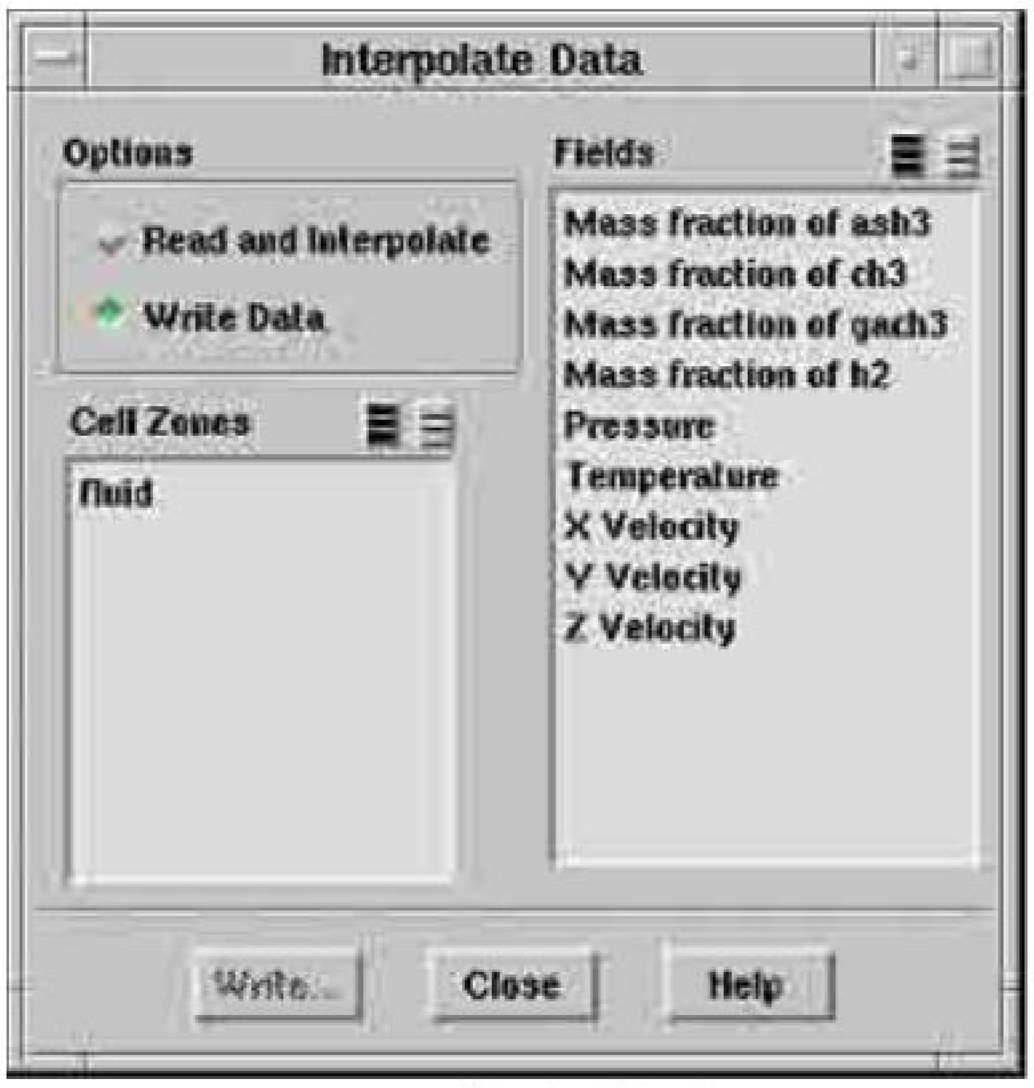


图 1-17 数据插值面板

FLUENT 允许在几何形状确定后，通过插值的方式，在不同网格之间传递数据。比如，可以将六面体网格的计算结果，通过插值转换成混合网格的计算解，然后再利用这个解作

为初始解开始混合网格中的计算。

网格之间的插值计算

网格之间插值计算的步骤如下：

（1）在原始网格上设置计算模型，并计算出一个解。

（2）使用数据插值面板，如图 1-17 所示，将解写入一个插值文件，为在新的网格上进行计算做好准备。

执行下列菜单操作启动数据插值面板：

File -> Interpolate...

在 Options（选项）下选择 Write Data（写数据），然后在 Cell Zones（单元区域）下选择保存数据的区域。如果计算区域中既有流体又有固体，则需将流体数据和固体数据保存在不同的文件上。在 Fields（流场）中选择需要插值的变量，对 FLUENT 中使用的所有变量都可以进行插值处理。最后点击 Write...（写）按钮指定文件名，并保存所有设置。

（3）建立新的算例。读入新的网格，并设置好计算模型、材料性质和边界条件等等。注意一定将原计算中的模型全部引入新的算例，否则将有一些数据在插值过程中被忽略。比如如果原计算中的能量方程模型在新的算例文件中没有被使用的话，则能量数据在插值过程中将被忽略，从而可能导致计算出错。

（4）读入原始计算结果。在图 1-17 的数据插值面板中，在 Options（选项）下选择 Read and Interpolate（读入并插值）选项。在 Cell Zones（网格区域）下选择准备读入和插值的区间。如果所有区域上都没有数据，比如没有进行初始化，或者没有读入插值数据，系统会自动将所有区域选中以保证在插值计算后每个区间上都有数据存在。如果各个区间上已经有了相关的数据，则可以在列出的所有区间中选择几个进行插值运算，并将计算结果赋值给新的网格区域。点击 Read...（读）按钮启动文件选择窗口，选择准备读入的文件，点击 OK 按钮完成读入操作。在计算区间中包含流体和固体两种介质时，上述操作要重复进行两次。

（5）在网格改变后，通量项肯定会出现一定程度上的不平衡，并最终导致流场变量的突变。为了避免或者减轻网格变化带来的不利影响，可以先将亚松弛因子降低，并在新网格中先进行几步运算，使流场完成初始调整。然后再将亚松弛因子调整到原来的值，正式开始在新网格上的计算。

插值文件的格式如下：

- 第一行是插值文件的版本，对于 FLUENT 5.0 这个数是 1.0，对于 FLUENT 6.0 这个数是 2.0。
- 第二行是计算的空间维数（二维或三维）。
- 第三行是总的网格点数。
- 第四行是总的变量数量（压强、温度、速度等等）。
- 从第五行开始是变量名列表。通过菜单命令[Display]-[Contours]可以看到所有变量的完整列表。

- 在变量列表的后面是坐标 x、y 的值，在三维问题中还包括 z 的值。
- 所有变量的数值按照第五行的排列次序排列在坐标值的后面，并且变量的排列次序与坐标的排列次序是相同的。二者的数量应该与第三行给出的值相符。下面是一个例子：

```
2
2
34800
3
x-velocity
pressure
y-velocity
-0.068062
-0.0680413
...
```

## 1.4.13 读入 Scheme 源文件

Scheme 语言的源文件可以用三种方式读入，一种是在菜单中作为 Scheme 文件读入，第二种是在菜单中作为进程文件读入，第三种是用 Scheme 语言的函数命令读入。

如果 Scheme 文件比较大，可以通过下列菜单操作读入：

File -> Read -> Scheme...

或者使用函数命令读入：

> (load "file.scm")

小的 Scheme 文件可以用下列菜单操作读入：

File -> Read -> Journal...

或者用命令 file/read-journal 读入，还可以用“.”或 source 命令读入：

> . file.scm

或

> source file.scm

均可以达到上述目的。

## 1.14.14 .fluent 文件

在 FLUENT 启动过程中，系统会在用户的安装目录中寻找一个叫.fluent 的文件。如果找到这个文件，FLUENT 将用 Scheme 的载入函数将这个文件读入系统。这个文件中可以包含 Scheme 语言写成的用于定制 FLUENT 运行的函数命令。

### 1.14.15 保存外观设置

使用下列菜单命令可以保存当前窗口、面板等的设置：

File -> Save Layout

如果用户希望保持当前使用的窗口、面板的设置形式，可以使用这个菜单命令将当前设置保存在根目录下的文件 cxlayout.scm 中。

### 1.14.16 算例和数据文件的格式

FLUENT 的算例和数据文件通常被分成几段（section），每个数据段都用括号括起来，每个数据段的开头都用一个整数作为标志，标志其数据类型。这种分段方式便于数据的检索、分类和更新。数据类型标志的后面是用括号单独括起来的、关于数据内容的头信息，数据内容则用独立的括号包围。

## 1.5　FLUENT 中的单位制

只要选择正确的转换因子，就可以在 FLUENT 中混合使用不同的单位制。比如在计算热力学问题时，使用英制的瓦特作功率单位，同时却可以使用国际单位制的米作为长度单位。在 FLUENT 的内核中是以国际单位制进行计算的，所谓混合单位实际上是在输入输出过程中照顾用户习惯的一种方法，最后所有单位制还是要在 FLUENT 内部统一为国际单位制，因此对计算过程没有影响。

### 1.5.1 对单位的限制

在 FLUENT 中对下述问题只能使用国际单位制进行输入：

（1）边界函数分布文件。

（2）源项。

（3）自定义场变量。

（4）由外部绘图软件生成的数据。

（5）用户自定义函数（UDF）。

如果在计算过程中使用温度的多项式定义材料性质，则温度的单位必须是开氏温度或兰氏温度。如果采用摄氏温度和开氏温度作为温度单位，则在使用温度多项式进行计算时，多项式的系数必须采用开氏温度；如果使用兰氏温度和华氏温度，则多项式的系数必须采用兰氏温度。

## 1.5.2 网格数据的单位

有些网格生成软件允许采用多种单位制作为网格长度的单位，但是 FLUENT 中只允许使用国际单位制，因此在使用那些不是用国际单位制定义的网格数据时，用户需要用后面章节中介绍的方法进行单位制的转换。

## 1.5.3 FLUENT 内建的单位制

FLUENT 有四种内建的单位制：英制、国际单位制、厘米-克-秒制和“缺省”单位制。在图 1-18 所示的单位设定面板中，使用 Set All To（将全部数据转换为……）下面的按钮可以将各种单位转换为统一的单位。执行下列菜单操作弹出单位设定面板：

File -> Units

转换单位制的步骤如下：

（1）在 Quantities（数量）下选定要转换单位的变量。

（2）在 Units（单位）下将显示当前使用的单位，再在 Set All To（将全部数据转换为……）下点击一个按钮，则原来的数据将转换为按钮所对应的单位制。在进行这一步的操作时，可以见到反白显示的单位从原来的位置跳到新的位置。

比如将面积的单位从国际单位制的平方米转换为英制的平方英尺，就可以先选择变量 area（面积），此时 Units 下面反白显示当前的单位是 $m^2$（平方米），再点击 british（英制）按钮，则可以看见反白的显示条从原来的地方跳到了 $ft^2$（平方英尺）的位置。

FLUENT 中的“缺省”单位制与国际单位制的唯一区别是角度的单位是“度”，而不是“弧度”。

图 1-18 单位设定面板

## 1.5.4 调整数据单位

如果用户不喜欢使用 FLUENT 提供的四种内建单位制，可以使用图 1-18 的单位设定面板对需要改变的变量进行选择，甚至通过给定转换因子设定新的单位。

列出现有单位

点击单位设定面板下面的 List（列表）按钮可以将系统内部所有的变量和单位以列表的形式显示在窗口中，同时显示各种单位的转换因子（Factor）和偏离值（Offset）。

改变一个变量的单位

与内建单位制的设定方法相类似，选定一个变量后，除了通过点击 Set All To（将全部数据转换为……）下面的按钮的方式将单位转换到另一个单位制外，还可以直接在 Units（单位）列表中选择一个单位作为变量的单位。

定义新单位

点击 New...（新）按钮可以打开 Define Unit（定义单位）面板定义新的单位。如图 1-19 所示，如果想为时间变量定义一个新的变量 hr（小时），可以先在 Quantities 下面选择变量 time，然后点击 New...（新）按钮进入 Define Unit（定义单位）面板，指定 Unit（单位）为 hr（小时）、Factor（转换因子）为 3600、Offset（偏离值）为 0，按 OK 键结束。

图 1-19 定义单位面板

转换因子的含义是新的单位与国际单位制之间的比例系数。在这个例子中，时间的新单位 hr（小时）是国际单位制 s（秒）的 3600 倍，即 1 小时等于 3600 秒，所以转换因子等于 3600。

# 1.6 FLUENT 的计算策略

任何工作都需要有一个计划，用 FLUENT 进行计算也不例外，计算前要在头脑中先勾勒出一个计划，然后再按照计划进行工作。

## 1.6.1 如何制订计划？

制订计划之前，需要了解下列问题：

（1）确定工作目标：即明确计算的内容是什么？计算结果的精度应该有多高？

（2）选择计算模型：要考虑如何划定流场？流场的起止点在哪里？边界条件怎么定义？是否可以用二维进行计算？网格的拓扑结构应该是什么样的？

（3）选择物理模型：流动是无粘流、层流，还是湍流？流动是可压的，还是不可压的？需要考虑传热问题吗？流场是定常的，还是非定常的？在计算中是否还要其它的物理问题？

（4）确定求解流程：要计算的问题能否用系统缺省的设置简单地完成？是否有什么窍门可以加快计算的收敛？计算机的内存是否够用？计算需要多长时间？

仔细思考这些问题可以更好地完成计算，否则在计算的过程中就会经常遇到意想不到的问题，并且经常返工，浪费时间，降低工作效率。

## 1.4.2 计算步骤

工作计划确定下来后，就可以按照下面的基本步骤开始计算：

（1）定义流场的几何参数并进行网格划分。

（2）启动相关的求解器。

（3）输入网格。

（4）检查网格。

（5）选择求解器格式。

（6）选择求解所用的基本方程：层流还是湍流？有没有化学反应？是否考虑传热？是否需要其它的物理模型，比如是否使用多孔介质模型？是否使用风扇模型？是否使用换热器模型？

（7）定义物质属性。

（8）定义边界条件。

（9）调整解的控制参数。

（10）初始化流场。

（11）开始求解。

表 1-1 FLUENT 计算步骤及对应菜单项

| 求解步骤 | 对应菜单项 |
|---|---|
| 3. 输入网格 | File |
| 4. 检查网格 | Grid |
| 5. 选择求解格式 | Define |
| 6. 选择基本方程 | Define |
| 7. 物质属性 | Define |
| 8. 边界条件 | Define |
| 9. 调整求解控制参数 | Solve |
| 10.初始化流场 | Solve |
| 11.计算求解 | Solve |
| 12.检查结果 | Display 或 Plot 或 Report |
| 13.保存结果 | File |
| 14.根据结果对网格做适应性调整 | Adapt |

（12）计算结束后检查计算结果。

（13）保存结果。

（14）如果结果不理想，可以考虑调整网格或者物理模型重新进行计算。

在网格划分阶段，可以用 GAMBIT、TGRID 或其它 CAD/CAE 软件进行网格划分，具体的操作方法可以参考本书第二篇关于预处理技术的介绍。

## 1.7 FLUENT 的计算方式

FLUENT 提供三种计算方式，即分离方式、耦合隐式和耦合显式。这三种计算方式都可以给出精确的计算结果，只是针对某些特殊问题时，某种计算方式可能比其它两种方式更快一些。

分离计算和耦合计算的区别在于求解连续、动量、能量和组元方程的方法有所不同。分离方式是分别求解上面的几个方程，最后得到全部方程的解，耦合方式则是用求解方程组的方式，同时进行计算并最后获得方程的解。两种计算方式的共同点是，在求解附带的标量方程时，比如计算湍流模型或辐射换热时，都是采用单独求解的方式，就是先求解控制方程，再求解湍流模型方程或辐射方程。显式和隐式的区别在于对方程的线化方式有所不同。后续章节中还会详细介绍这三种计算方式。

分离方式一般用于不可压流或弱可压流的计算。耦合方式则通常用于高速可压流计算。而在 FLUENT 中，两种方式都可以用于可压和不可压流动计算，只是在计算高速可压流时，耦合方式的计算结果更好一些。

FLUENT 求解器的缺省计算方法是分离算法，但是对于高速可压流、彻体力强耦合型问题（比如浮力问题或旋转流动问题）、超细网格计算问题等类型的问题，最好还是使用耦

合隐式计算方式。这个求解器收敛速度更快，只是需要占用更大的内存。

上面提到的几个问题虽然最好采用耦合隐式方式进行计算，但是在内存不够时，也可以考虑使用分离或耦合显式方法进行计算。耦合显式计算也是将能量方程与其它方程耦合在一起进行计算，但是所需内存更小，而计算时间则比较长。

需要注意的是分离求解器中使用的几个物理模型在耦合求解器中是不能使用的，这些模型包括：

（1）多相流模型。

（2）混合浓度/PDF 燃烧模型。

（3）预混燃烧模型。

（4）污染物构成模型。

（5）相变模型。

（6）Rosseland 辐射模型。

（7）特定质量流周期流模型。

（8）流向周期性换热模型。

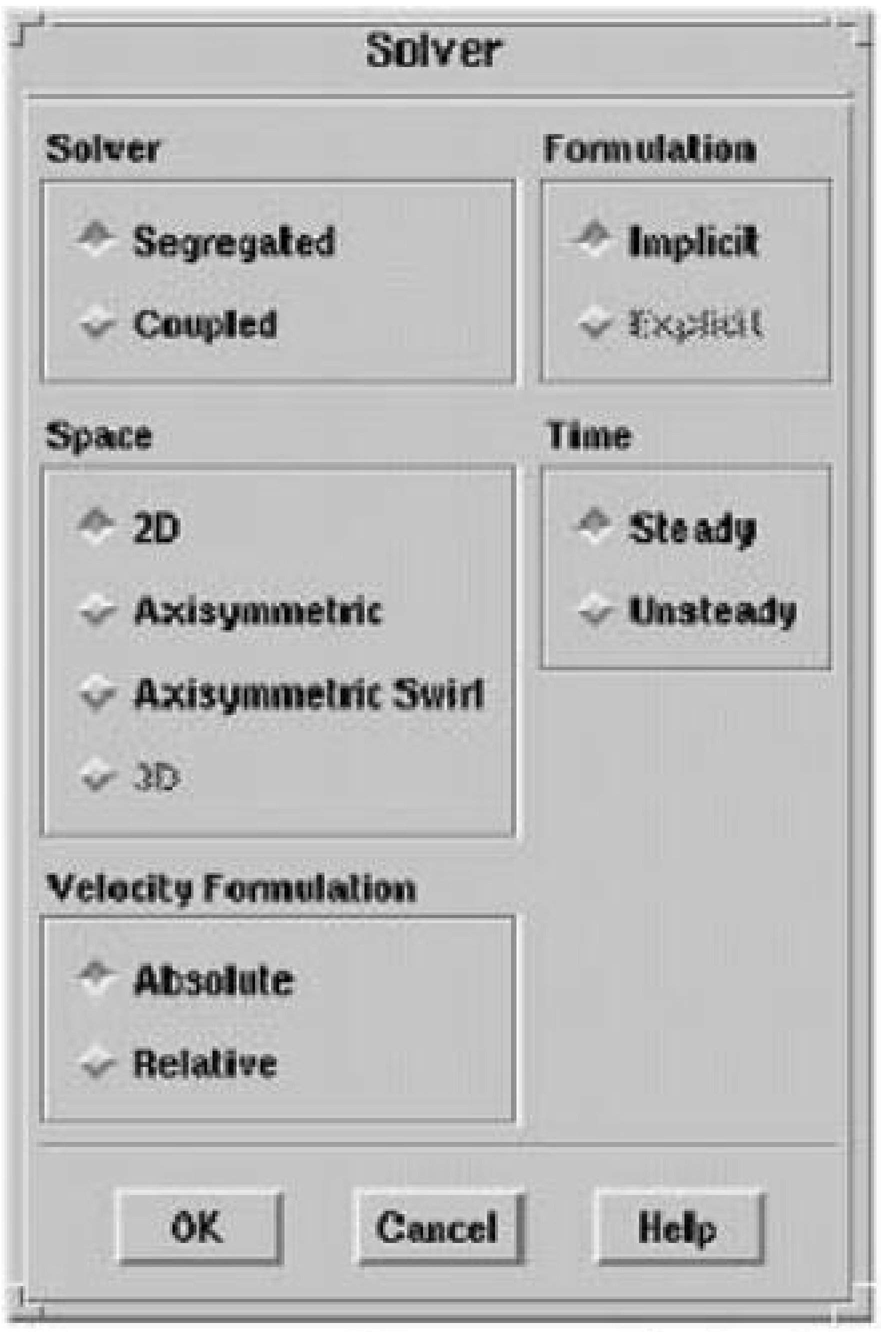


图 1-20 在 Solver（求解器）面板中选择求解方式

计算方法可以通过 Solver（求解器）面板进行选择。Solver（求解器）面板的启动方法为：

Define -> Models - Solver…

在缺省设置下，系统选用的是分离求解器。要选择耦合隐式算法，就在 Solver（求解器）下选择 Coupled（耦合），在 Formulation（算法）下选择 Implicit（隐式）。如要选择耦

合显式方式，则在 Solver（求解器）下选择 Coupled（耦合），在 Formulation（算法）下选择 Explicit（显式）。

# 1.8 例题：方腔流动计算

下面利用 FLUENT 光盘上的一个网格文件来做个简单的计算。

我们要算的问题如图 1-21 所示，在一个菱形的二维空腔中充满等密度的空气，菱形每边长为 0.1m，顶角为 60º，其顶板以 0.1m/s 的速度向右移动，同时带动空腔内流体的流动。流场的雷诺数大约为 500，为层流流动。我们要算的就是空腔内的流场，也就是说通过计算我们要确定空腔内流体的流动参数分布。

## 1.8.1 计算过程概述

这个问题是个简单的二维流动计算问题，流动是层流，没有热传导，也没有任何其它的物理模型需要考虑。与问题相关的网格划分问题我们暂时不用考虑，光盘上有现成的网格文件，将它读入 FLUENT 就可以了。

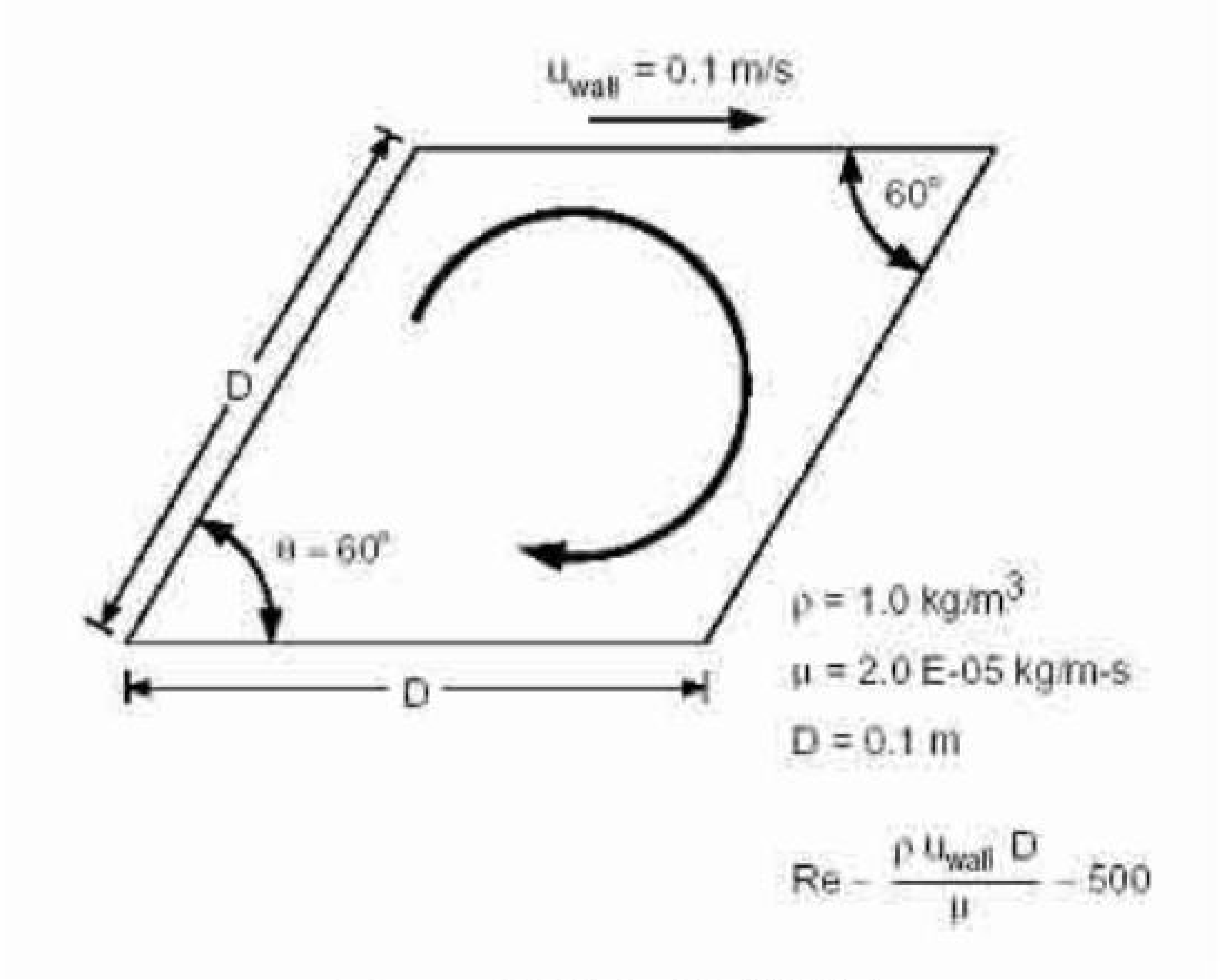


图 1-21 顶板移动孔穴中的流动

计算步骤因此可以简化为：

（1）读入网格文件并进行检查。

（2）选择缺省的分离计算方式。

（3）定义物理模型。
（4）指定流体物质属性。
（5）保存问题设置。
（6）初始化。
（7）开始计算。
（8）保存结果。
（9）检查结果。
下面是具体操作过程：

## 1.8.2 读入网格文件并进行检查

启动 FLUENT 的二维计算版本。进行下列菜单操作就会出现图 1-22 所示的文件选择对话框：

File -> Read -> Case…

读入网格

在本算例中要使用的网格文件已经被保存为 FLUENT 格式，因此可以直接将它读入。

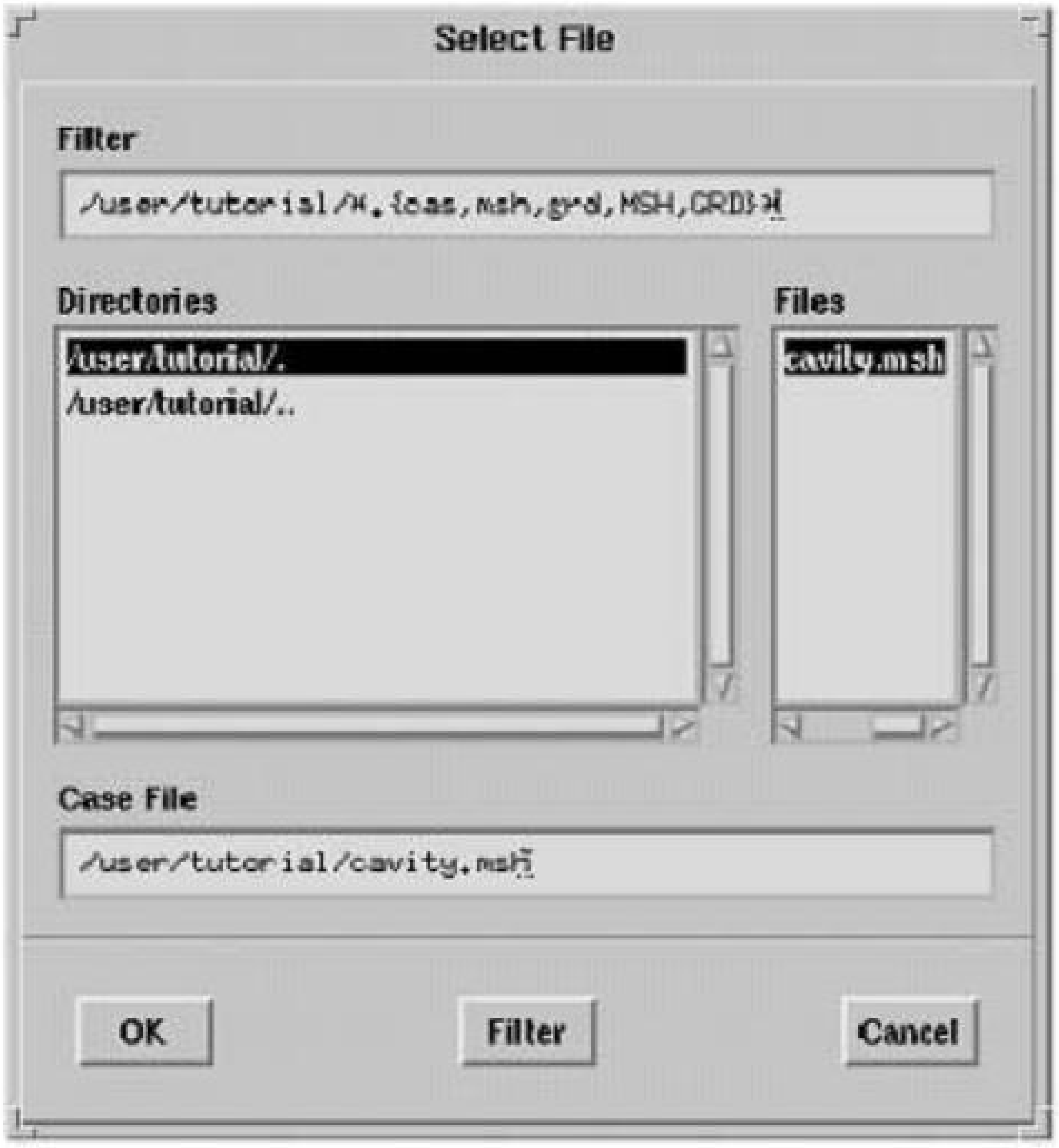


图 1-22 文件选择对话框

检查网格

网格读入成功后，需要对它进行检查。检查的目的是看网格文件是否可以用于计算。执行菜单操作：

Grid -> Check

在控制台窗口中就可以看到网格覆盖范围、体积统计数据、连通性信息等数据，如图 1-23 所示。

比较容易发现的网格错误是网格体积出现负值。如果网格的体积出现负数，就需要重新进行网格划分，以便去掉这种在物理上不真实的网格形式。要显示体积为负数的网格，执行菜单操作：

Adapt -> Iso-Value…

选择显示体积数值小于零的体积。

显示网格

```
Grid Check

 Domain Extents:
   x-coordinate: min (m) = 0.000000e+00, max (m) = 1.500000e-01
   y-coordinate: min (m) = 0.000000e+00, max (m) = 8.660000e-02
 Volume statistics:
   minimum volume (m3): 7.156040e-05
   maximum volume (m3): 7.157349e-05
     total volume (m3): 8.660000e-03
 Face area statistics:
   minimum face area (m2): 9.089851e-03
   maximum face area (m2): 9.091221e-03
 Checking number of nodes per cell.
 Checking number of faces per cell.
 Checking thread pointers.
 Checking number of cells per face.
 Checking face cells.
 Checking face handedness.
 Checking element type consistency.
 Checking boundary types:
 Checking face pairs.
 Checking periodic boundaries.
 Checking node count.
 Checking nosolve cell count.
 Checking nosolve face count.
 Checking face children.
 Checking cell children.
Done.
```

图 1-23 网格检查结果

在网格检查工作结束后，可以显示网格，这样就可以直接看到网格划分的具体模样，

并通过经验对网格划分的质量做出判断。显示网格的菜单操作为：

Display -> Grid…

在弹出的网格显示面板上点击 Display（显示）按钮将启动一个图形显示窗口，并在窗口中开始绘制网格。可以看到如图 1-24 所示的网格图形。点击 Close（关闭）按钮关闭显示面板。

在显示网格的窗口中，按住鼠标中键并拖动，可以将选中区域放大显示。这个功能可以用于显示网格的局部，便于看清网格细节。

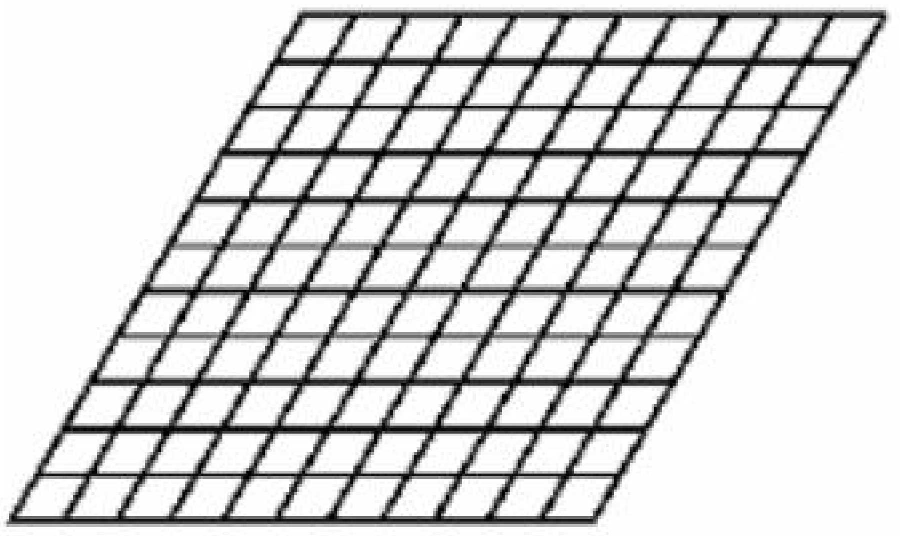

图 1-24 网格划分显示

## 1.8.3 选择求解方式

在这个算例中，因为流动速度很低，所以可以认为流动是不可压流动，也就是说可以使用 FLUENT 缺省的分离求解器进行计算，因此不必改变任何设置就可以进行计算了。当然，如果要尝试使用另外两种耦合方式进行计算的话，也可以执行下列菜单操作启动 Solver（求解器）面板并选择计算方式：

Define -> Model

## 1.8.4 定义物理模型

FLUENT 中的缺省设置是层流计算。因为这个算例中的流动是层流，所以不需要改变任何东西。如果需要改变设置，使用其他模型的话，可以执行下列菜单操作：

Define -> Model-> Viscous...

打开 Viscous（粘性模型）面板并进行修改。

## 1.8.5 定义流体材料性质

执行下列菜单操作启动 Materials（材料）面板，如图 1-25 所示：

Define -> Materials…

如果不想用空气作为计算对象，可以从材料数据库中选择其他的材料作为计算对象，或者可以创建一种新的材料做计算对象。在本算例中，只要选择 air（空气），再对空气性质进行一些调整就可以了。这些修改是：

（1）将 Density（密度，单位为 $kg/m^3$）的值改为 1.0。

（2）将 Viscosity（粘度，单位为 kg/m-s）的值改为 2e-05。

（3）点击 Change/Create（改变/创建）按钮保存新的数值，然后关闭面板，结束物质属性设置工作。

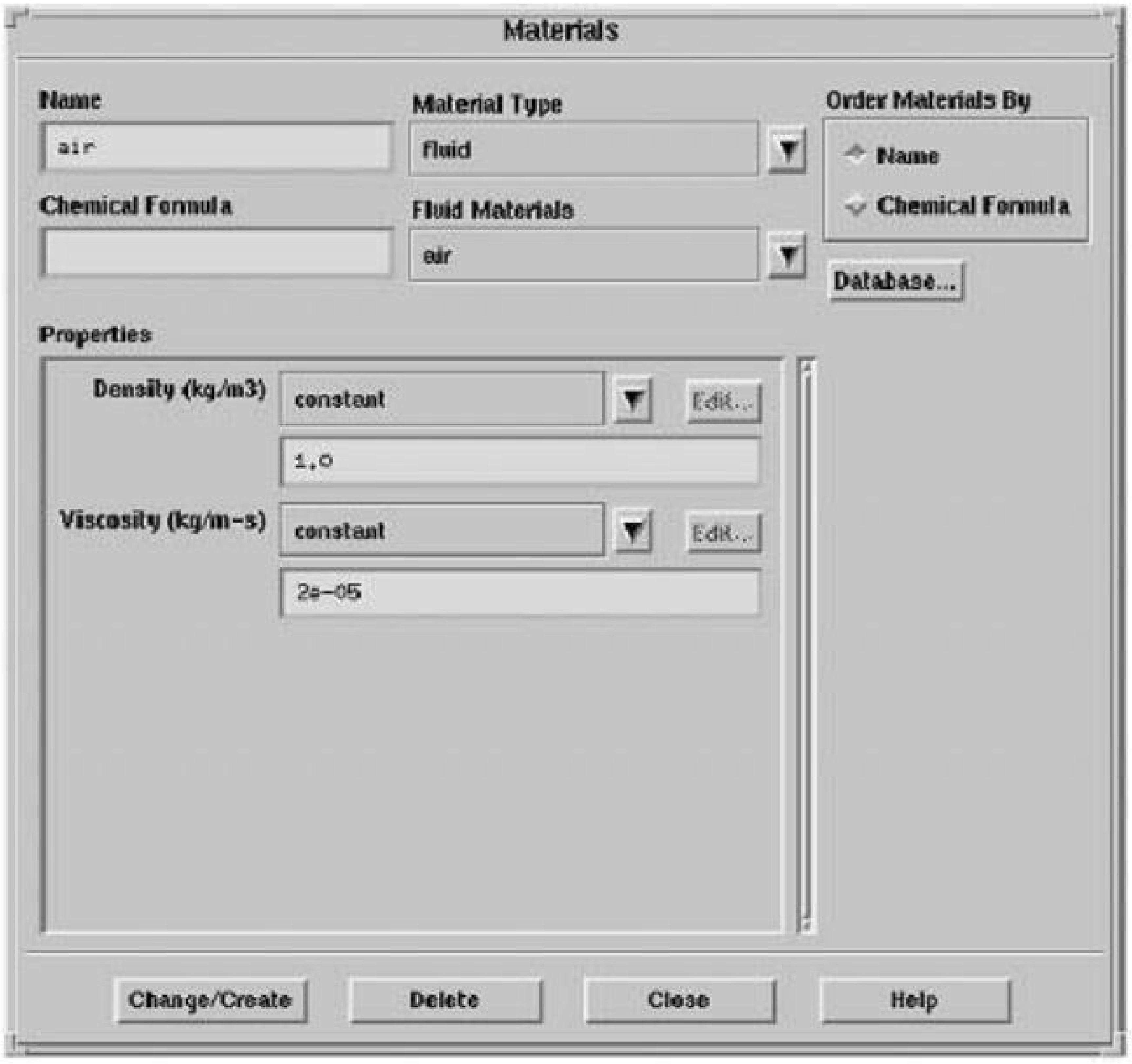


图 1-25 Material（材料）面板

## 1.8.6 定义边界条件

边界条件的设定是在边界条件面板中完成的。执行下列菜单操作启动这个面板，如图 1-26 所示：

Define -> Boundary Conditions…

在这个面板上可以改变边界类型，并设定边界条件参数。

为指定区域设置边界条件的操作方法如下：

（1）在 Zone（区域）栏中选择边界区域。

（2）在 Type（类型）栏中选择边界类型。

（3）点击 Set…（设置）按钮设置具体数值，也可以在选择了边界类型后，直接双击 Zone（区域）栏中的边界区域名来设置具体数值。

图 1-26 边界条件面板

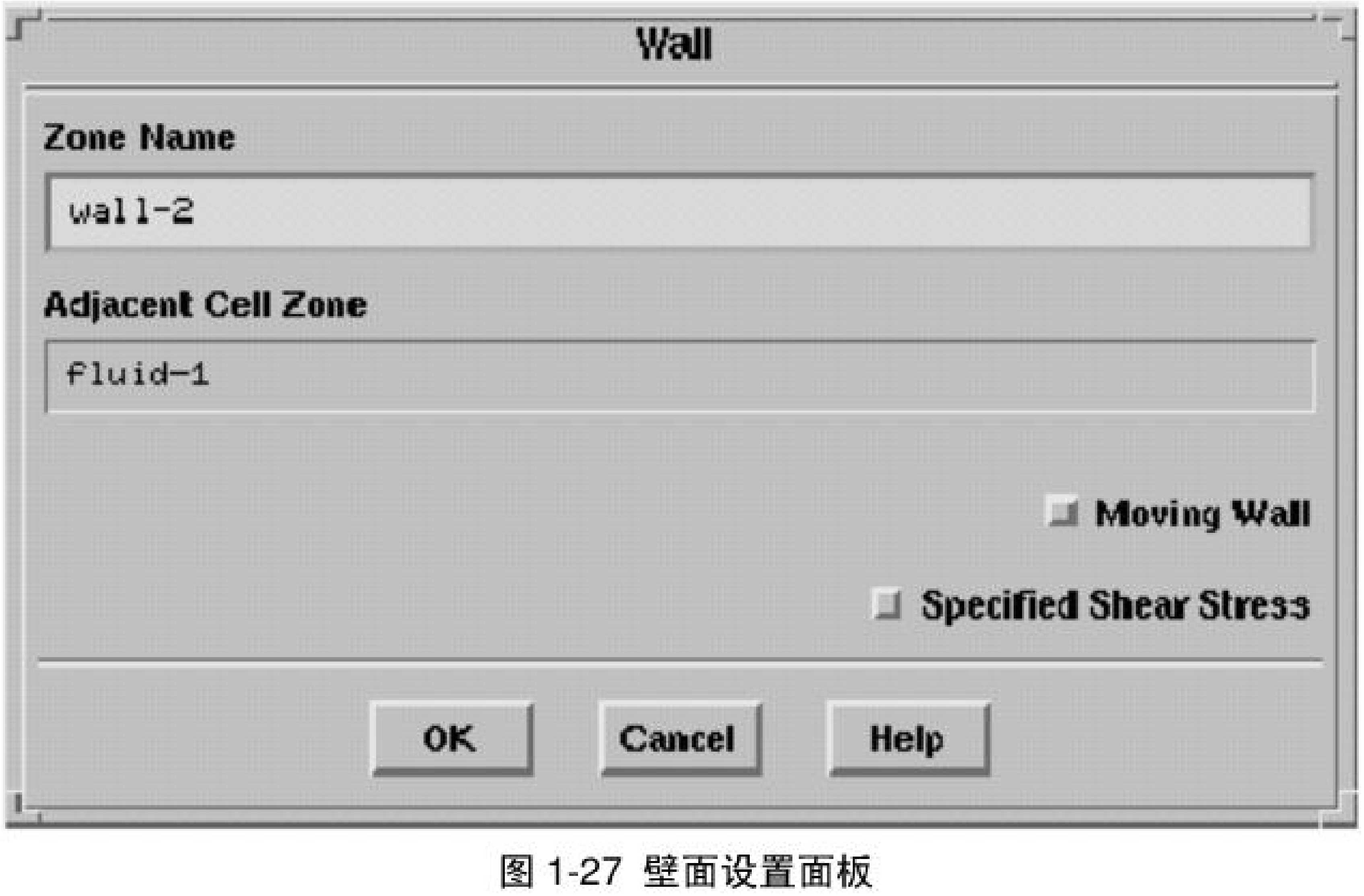


图 1-27 壁面设置面板

在本算例中，需要将顶板速度设置为 0.1m/s 来模拟空腔上方移动的盖板。如果不知道 Zone（区域）栏中哪个边界是需要被设置为移动顶板，可以在显示网格的图形窗口中用右

键点击代表顶板的那条边，这样边界条件面板中就会自动选中相应的边界。在这个例子中是 wall-2，然后再点击 Set…（设置）按钮就可以进行设置了，如图 1-27 所示。在进行上述操作的同时，与边界 wall-2 相关的信息会显示在控制台窗口中。

图 1-28 移动壁面设置面板

要设置移动壁面条件，必须选择 Moving Wall（移动壁面）选项，操作的结果是壁面设置面板将展开成图 1-28 的样子。在缺省情况下，系统假定壁面是平动的，运动方向与 X 轴方向相同，因此在本算例中只要将速度设为 0.1m/s 就可以了。

在旋转型壁面条件设置时不必在选择相对运动还是绝对运动上过多犹疑，因为周围的流体是不动的，所以上述两项选择是等效的。

在输入完速度值后就可以点击 OK 按钮保存结果并关闭壁面设置面板了。本算例中的其它三个壁面都是静止壁面，这与系统的缺省设置相同，所以不必再做什么设置，直接关闭边界条件设置面板就可以了。

## 1.8.7 调整计算控制参数

执行下列菜单操作可以改变亚松弛因子、多重网格参数和其它计算控制参数：

Solve -> Controls

在本算例中不用改变这些设置。

绘制残差曲线

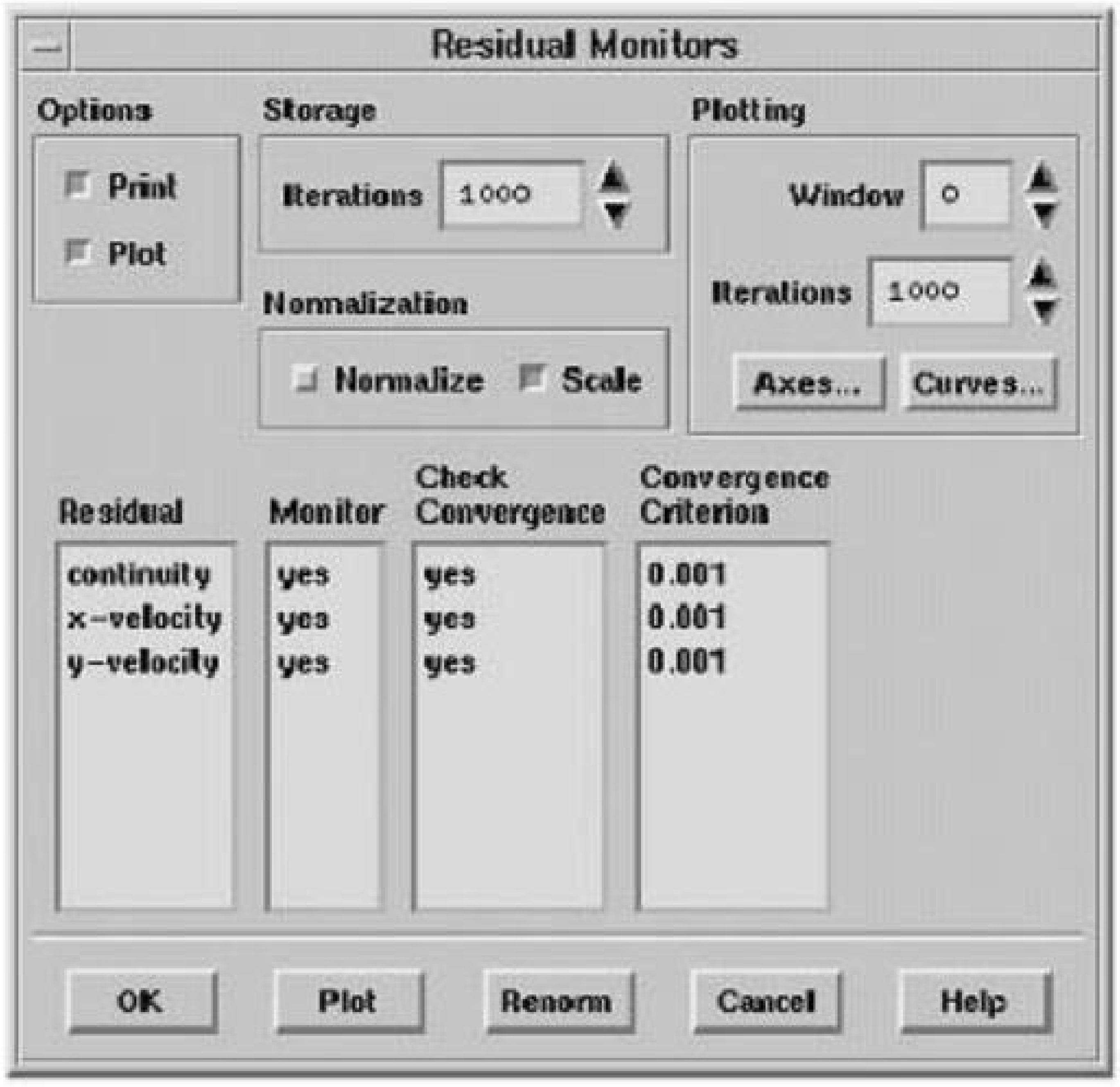


图 1-29 残差监视面板

现在设置工作基本完毕，可以打开一个图形窗口显示计算的残差曲线，监视计算过程。执行下列菜单操作打开 Residual Moniters（残差监视器）面板，如图 1-29 所示：

Solve -> Monitors -> Residual…

在 Options（选项）下选择 Plot（绘制），则在计算进行过程中会打开残差监视窗口。因为在初始化之前各变量尚未赋值，所以显示残差需要在初始化后进行。

残差值越来越小，表示计算结果正在向一个极限收敛。如果残差越来越大，则说明计算已经发散。

## 1.8.8 保存算例文件

前面所设置的参数均被保存在算例文件中，一般在进行计算前都要进行一次保存。计算的数值结果则保存在数据文件中，计算结束时必须保存以免数据丢失。

图 1-30 保存算例文件

## 1.8.9 开始计算

初始化流场

在开始迭代前，必须先初始化流场。所谓初始化，其实就是给各流场参数赋初始值，以便迭代计算可以有一个起点。初始化流场的方式有两种，一种是初始化流场边界，另一种是直接初始化流场变量。执行下列菜单操作打开 Soluton Initialization（求解初始化）面板，如图 1-31 所示：

Solve -> Initialize -> Initialize…

在本算例中，空腔流动必然发展成为旋转流动，因此可以将速度值设为 0，也就是保留缺省设置，然后点击 Init（初始化）按钮开始初始化计算，最后点击 Close（关闭）按钮关闭面板。

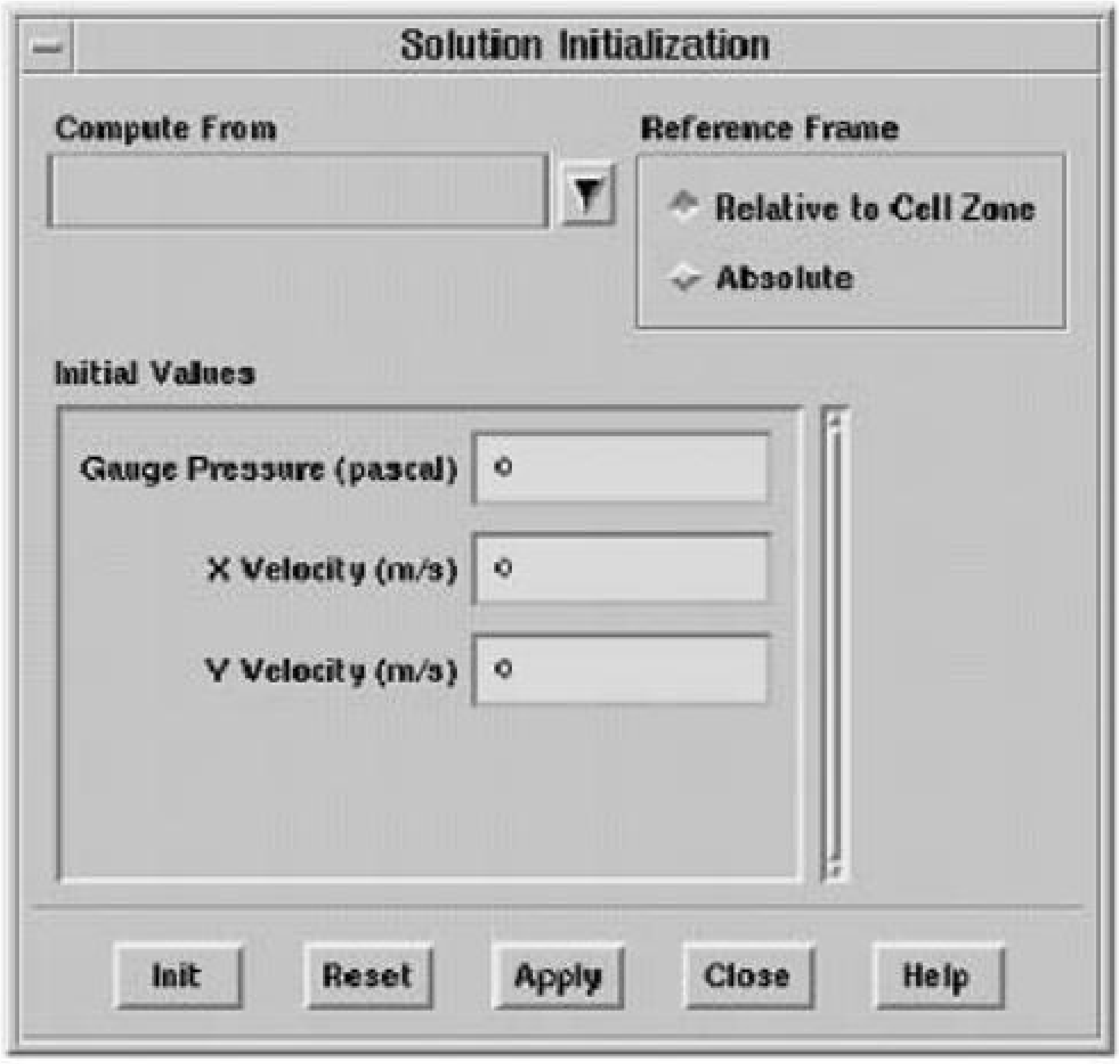


图 1-31 初始化面板

开始计算

现在可以开始迭代计算了。执行下列菜单操作打开迭代面板，如图 1-32 所示：
Solve -> Iterate…

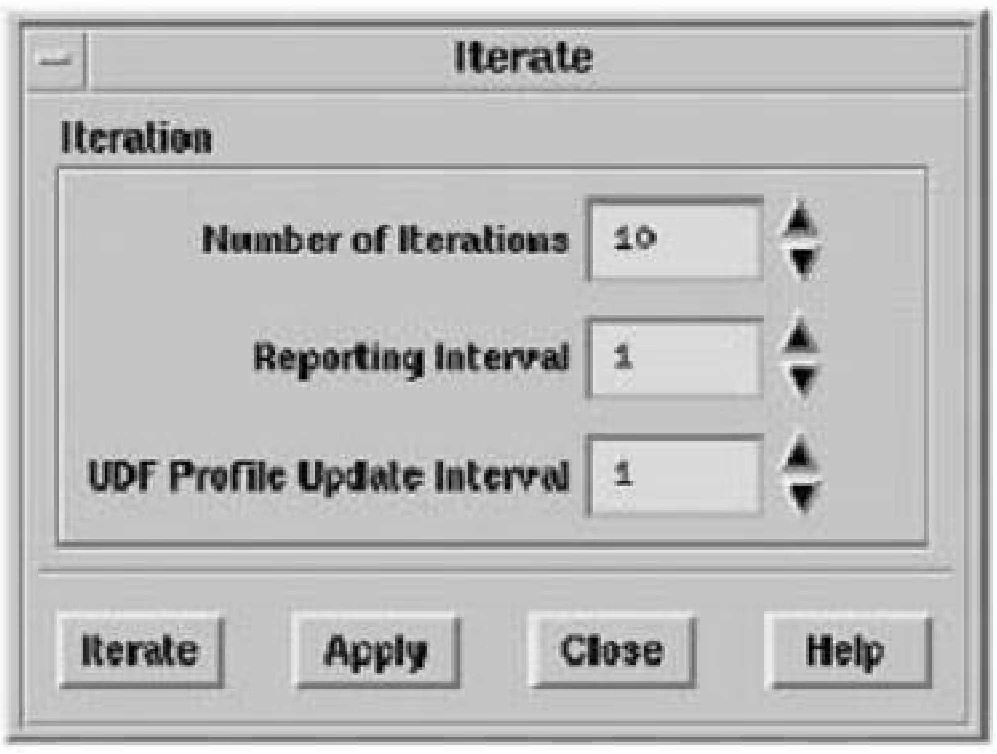


图 1-32 迭代面板

在 Number of Iterations（迭代次数）中填入 10，然后点击 Iterate（迭代）按钮开始计算。在 10 次迭代后，从图形窗口中可以看到图 1-33 所示的残差曲线。残差曲线下降表明计算在收敛。

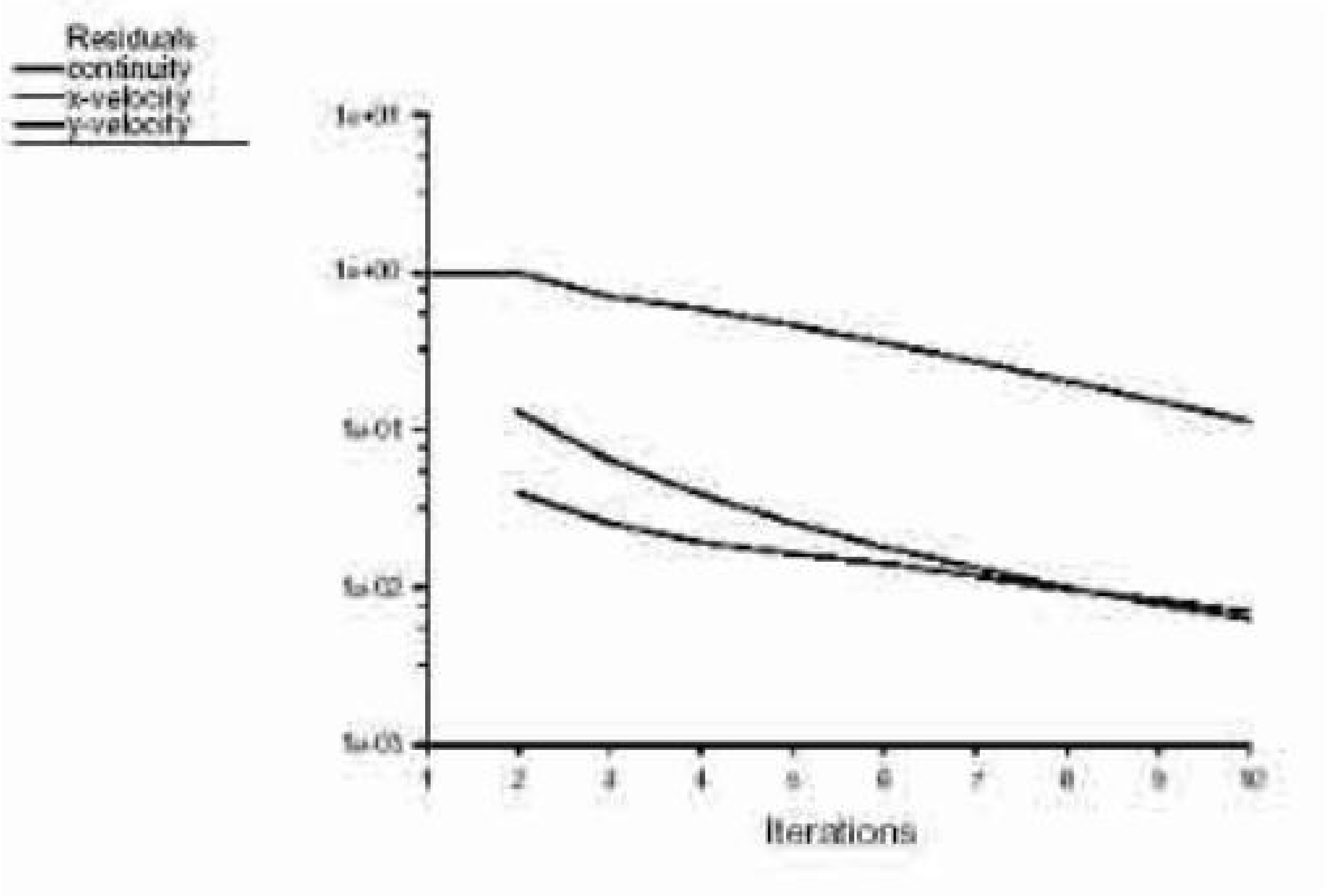


图 1-33 残差曲线

在计算过程中可能还想看看流场的变化过程。执行下列菜单操作打开一个速度矢量面板，如图 1-34 所示：

Display -> Velocity Vectors…

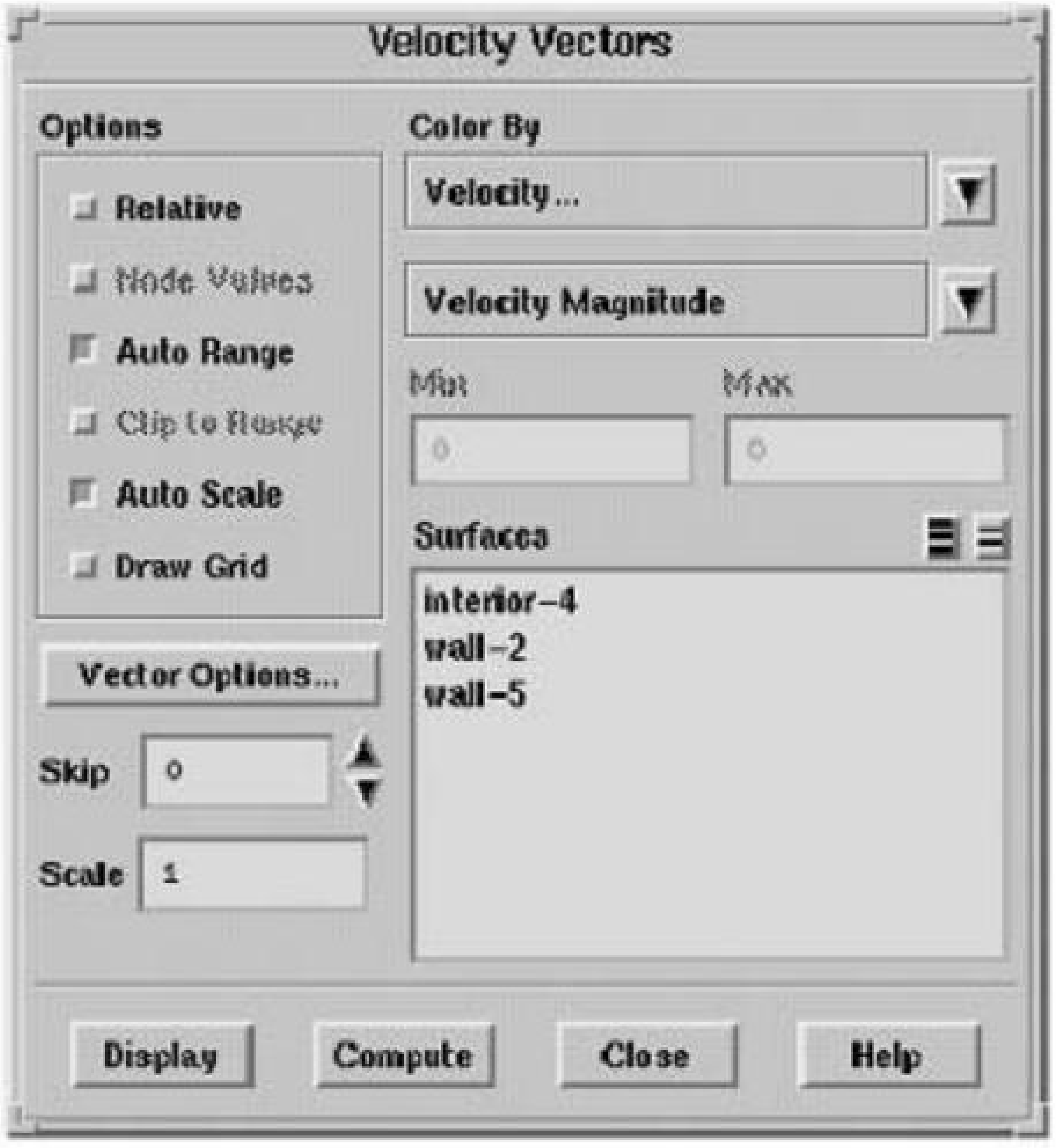


图 1-34 速度矢量面板

这个面板中的缺省设置将绘制一个速度矢量图，其色彩将随速度大小发生变化。点击 Display（显示）按钮，可以看到一个如图 1-35 所示的速度矢量图。

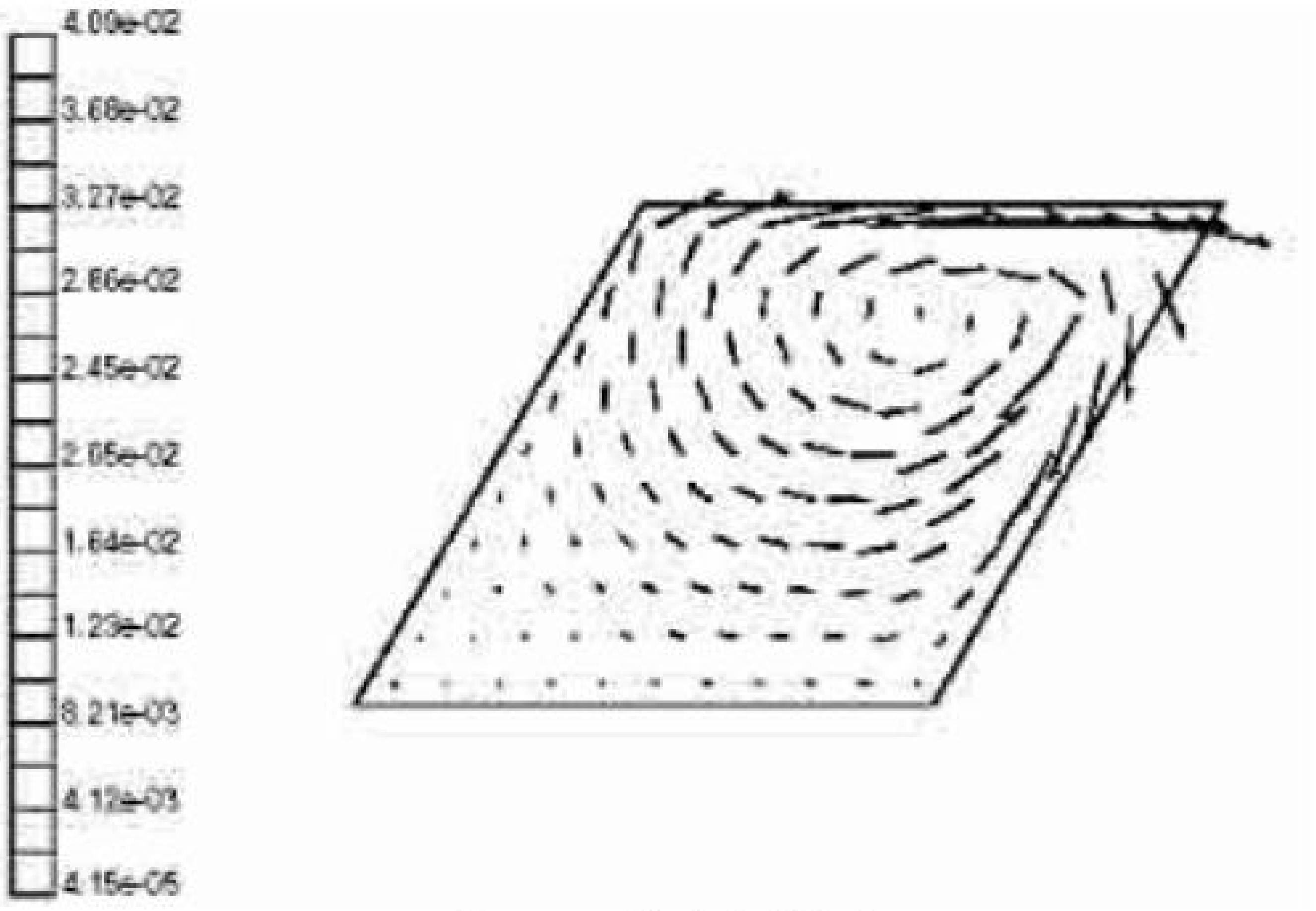


图 1-35 速度矢量图

从图中可见，虽然只计算了 10 步，空腔内流体已经明显开始旋转。这表明计算在按照预想的进程发展，因此可以在迭代面板中将迭代次数重新设为 100，然后开始计算。事实上在计算到 50 步时，就基本达到了系统缺省的收敛条件。此时残差曲线将如图 1-36 所示。

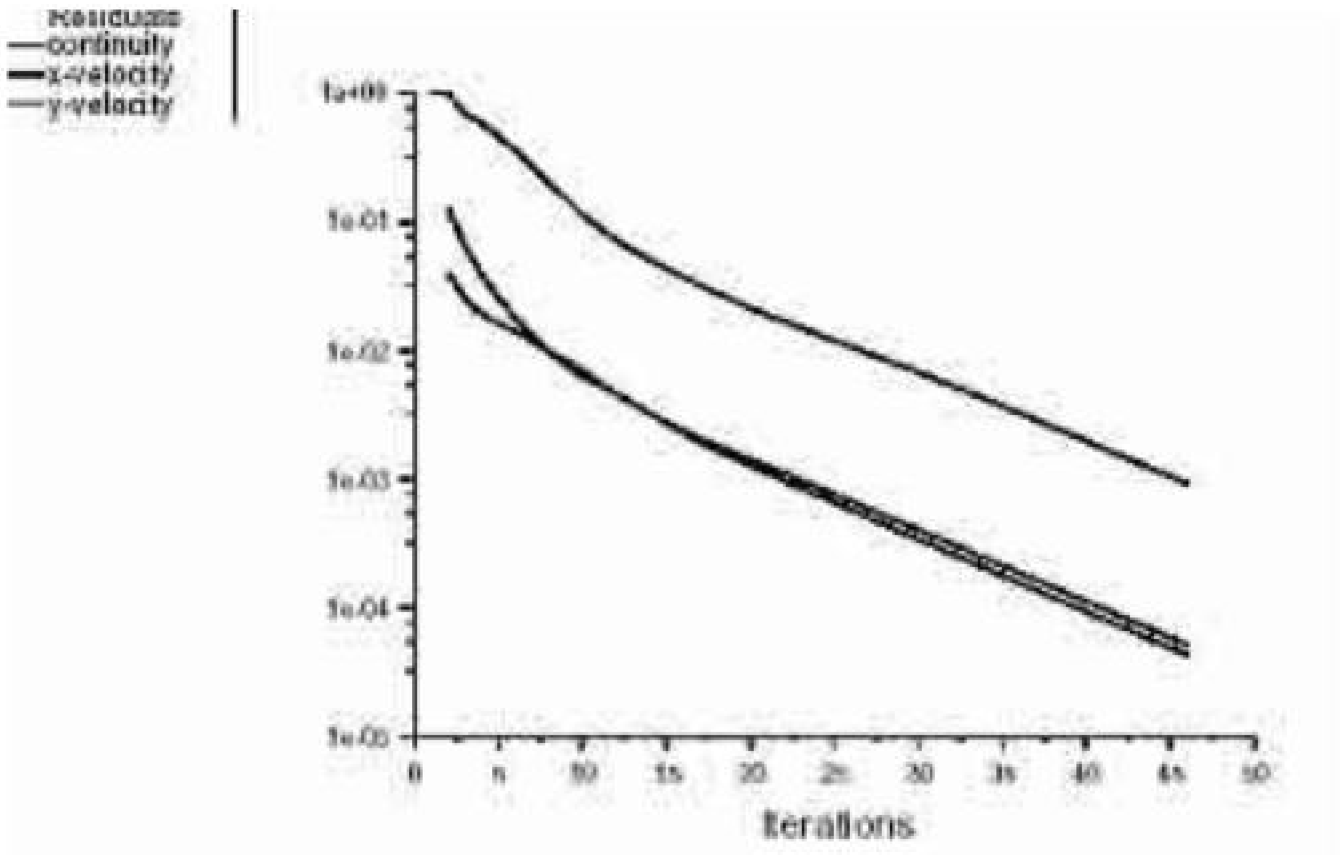


图 1-36 迭代 50 步后的残差曲线

现在可以检查收敛后的计算结果，并将结果保存起来。

## 1.8.10 保存计算结果

选择同时保存算例文件和数据文件的方式，并将文件命名为 cavity，则输入数据和计算结果被分别保存在算例文件 cavity.cas 和数据文件 cavity.dat 中。在将来可以打开这两个文件继续进行计算或进行后处理操作。在成功保存文件后，可以重新调入这些文件进行计算。

## 1.8.11 检验计算结果

前面已经绘制过速度矢量线，在 FLUENT 中还可以绘制等值线。

图 1-37 等值线面板

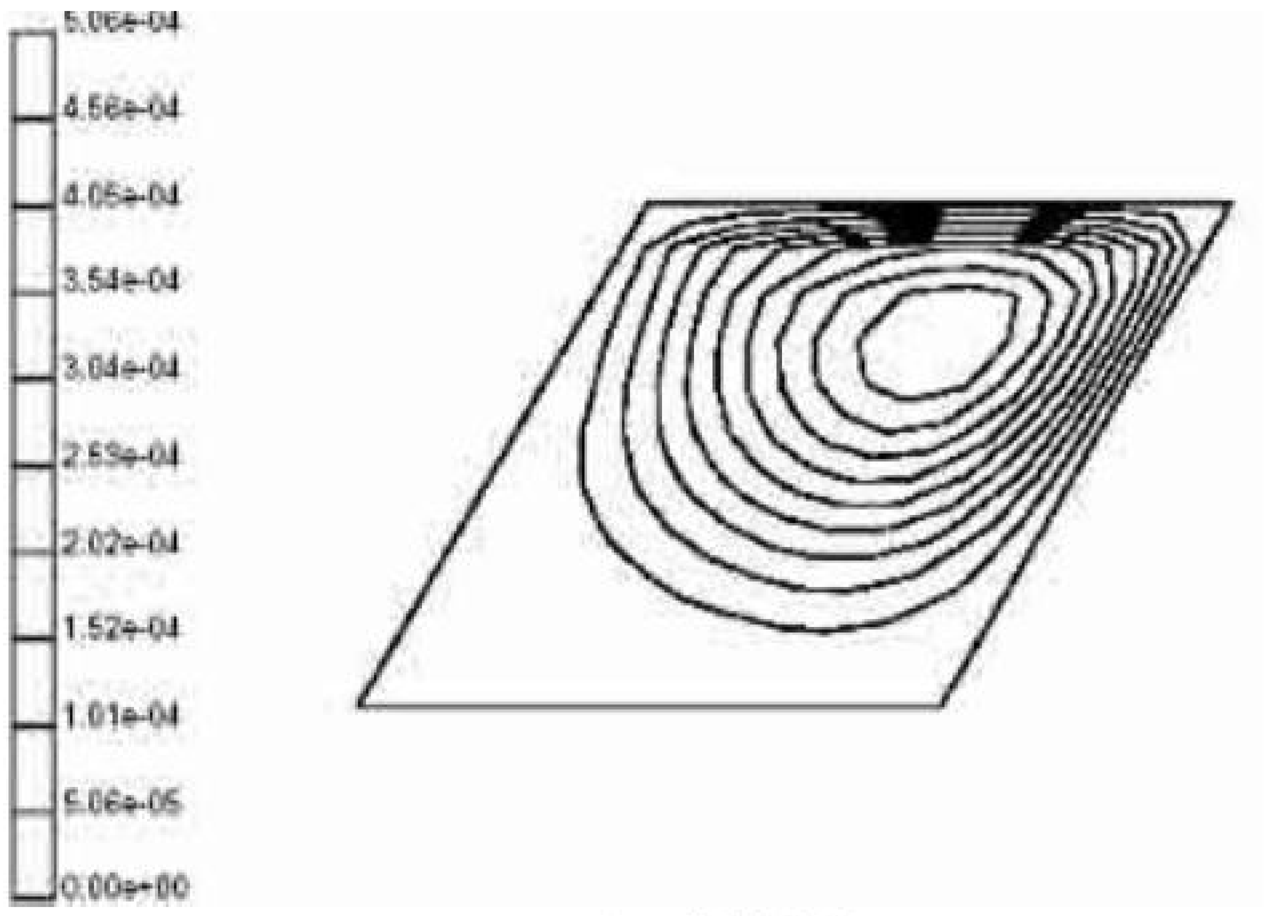


图 1-38 流函数等值线

执行下列菜单操作打开一个如图 1-37 所示的等值线面板：

Display -> Contour…。

在 Contours Of 的下拉菜单中选择 Velocity…（速度），在下面一个下拉菜单中选择 Stream Function（流函数），再将左下角的 Levels 设为 10，点击 Display（显示）按钮，则系统

会绘制一个如图 1-38 所示的等值线图。在等值线显示完毕后，点击 Close（关闭）按钮关闭等值线面板。

### 1.8.12 退出 FLUENT

看完计算结果后就可以退出了，在菜单上进行下列操作退出：

File -> Exit…

这个简单的例子主要是帮助用户理解怎样使用 FLUENT。在第二章中我们将增加难度，计算包括一个稍微复杂一些的例子，进一步深化求解过程的讲解。

## 1.9 本章小结

在这一章中给大家介绍了 FLUENT 软件的基本情况，包括与 FLUENT 同时发布的几个软件及其主要功能，FLUENT 软件及与它配合使用的软件的安装和启动过程和系统要求，FLUENT 的主要计算方式和适用范围，FLUENT 的图形用户界面和文字用户界面，FLUENT 与其他 CAD/CAE 软件的接口，各种文件在 FLUENT 中的导入和导出方法，FLUENT 的计算规划和计算步骤。最后通过一个简单的算例展示了用 FLUENT 软件进行计算的基本流程。